

**VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**FAKULTA STROJNÍ**

**KATEDRA ROBOTIKY**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

Efektory pro kolaborativní robotizovaná pracoviště

End Effectors for Collaborative Robotics Workplaces

Student:

Bc. Lukáš Káňa

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Václav Krys, Ph.D.

Ostrava 2019

# Zadaní práce

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra robotiky

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Káňa**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301T013 Robotika  
Téma: **Efektory pro kolaborativní robotizovaná pracoviště  
End Effectors for Collaborative Robotic Workplaces**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši v oblasti dostupných efektorů pro kolaborativní roboty. Analyzujte platné normy zabývající se bezpečnostními nároky pro kolaborativní pracoviště.
2. Na základě dostupných informací k řešeným robotizovaným pracovištím sestavte požadavky na v nich použité efektory.
3. Navrhněte možné koncepce řešení manipulace objektů v rámci daných pracovišť a navrhněte varianty koncových efektorů.
4. Vybrané varianty efektorů pro jednotlivá pracoviště rozpracujte do úrovně podrobného 3D modelu. Navržené řešení doložte návrhovými a kontrolními výpočty kritických uzlů efektorů.
5. Pro navržené efektory a uvažované manipulační cykly zpracujte analýzu rizik.
6. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a konstrukční řešení v CAD systému dle pokynů vedoucího.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2007. 48 s.

ČSN ISO 690 *Informace a dokumentace - Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Český normalizační institut, 2010.

ISO/TS 15066:2016 *Robots and robotic devices -- Collaborative robots*.

SKAŘUPA, J.; MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. 1. vydání. Košice: Viena Košice, 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0.

BURKOVIC, J. *Navrhování robotizovaných montážních linek*. 1. vydání. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2008. 163 s. ISBN 978-80-248-1869-6.

PALKO, A., SMRČEK, J. *Robotika, Koncové efektory pre priemyslné a servisné roboty, Navrhovanie – Konštrukcia - Riešenia*. 1. vydání. Košice: TU v Košiciach, 2004. 274 s. ISBN 80-8073-218-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Krys, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019

prof. Dr. Ing. Petr Novák  
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....*20.5.2019*.....


..........

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 20. 5. 2019



podpis

Jméno a příjmení autora práce: Lukáš Káňa

Adresa trvalého pobytu autora práce: Dlouhá 80, Darkovice 747 17

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

KÁŇA, Lukáš. *Efektory pro kolaborativní robotizovaná pracoviště*. Ostrava, 2019, 95 s. Diplomová práce. VŠB-Technická Univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra Robotiky. Vedoucí práce: Ing. Václav Krys, Ph.D.

Tato diplomová práce pojednává o návrzích koncových efektorů pro kolaborativní robotizovaná pracoviště. Je zde proveden návrh řešení pro každé pracoviště, zhodnocení návrhu, detailní rozpracování, výpočet kritických uzlů efektorů a pevnostní analýzy funkčních částí efektorů. Je zde řešena problematika návrhu, bezpečnosti a implementace návrhu na daný kolaborativní robot, v rámci této problematiky je zde popsána i realizace a testování navržených řešení.

## **ANNOTATION OF MASTER THESIS**

KÁŇA, Lukáš. *End Effectors for Collaborative Robotics Workplaces*. Ostrava, 2019, 95 p. Diploma Thesis. VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotic. Thesis head: Ing. Václav Krys, Ph.D.

This diploma thesis deals with the design of the end effectors for collaborative robotics workplaces. There is given a solution for each workplace including, design evaluation, detailed elaboration, calculation of critical (sub)parts of effectors and strength calculation of functional components of the effectors. There are solved the issue of design, security, and implementation of the proposal for a chosen collaborative robot. In this case an implementation and testing of the proposed solutions is discussed.

# Obsah

<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>9</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>12</b>
<b>Seznam použitých značek a symbolů .....</b>	<b>14</b>
<b>Slovník termínů.....</b>	<b>15</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>16</b>
<b>1 Kolaborativní robotika – analýza současného stavu.....</b>	<b>17</b>
1.1 Kolaborativní robot .....	17
1.2 Požadavky bezpečnosti.....	21
1.2.1 ISO 10218-1 .....	21
1.2.2 ISO 10218-2.....	23
1.2.3 ISO/TS 15066 .....	25
1.3 Kolaborativní efekторы.....	28
<b>2 Analýza daného úkolu.....</b>	<b>34</b>
2.1 Obecné požadavky na aplikace .....	34
2.2 Zakládání světlometu.....	35
2.2.1 Popis pracoviště .....	35
2.2.2 Popis OM .....	37
2.2.3 Popis zadaného úkolu .....	38
2.2.4 Požadavkový list aplikace.....	39
2.2.5 Koncepce řešení .....	40
2.3 Montáž odstředivé spojky.....	47
2.3.1 Popis pracoviště .....	47
2.3.2 Popis OM .....	50
2.3.3 Popis zadaného úkolu .....	51
2.3.4 Požadavkový list aplikace.....	51
2.3.5 Koncepce řešení .....	52
2.4 Manipulace a orientace elektronické jednotky .....	56
2.4.1 Popis pracoviště .....	56
2.4.2 Popis OM .....	58
2.4.3 Popis zadaného úkolu .....	59
2.4.4 Požadavkový list aplikace.....	60



2.4.5	Koncepční řešení.....	61
<b>3</b>	<b>Zhodnocení koncepcí .....</b>	<b>65</b>
3.1	Zakládání světlometů.....	66
3.2	Montáž odstředivé spojky.....	66
3.3	Manipulace a orientace elektronické jednotky .....	67
<b>4</b>	<b>Řešení dílčích úkolů .....</b>	<b>68</b>
4.1	Montáž odstředivé spojky.....	68
4.1.1	Kontrolní výpočty .....	68
4.1.2	Realizace a testování.....	72
4.1.3	Úpravy řešení .....	72
4.1.4	Pevnostní kontrola .....	75
4.2	Manipulace a orientace elektronické jednotky .....	76
4.2.1	Kontrolní výpočty .....	76
4.2.2	Realizace, testování a úpravy řešení .....	78
4.2.3	Pevnostní kontrola .....	85
<b>5</b>	<b>Zhodnocení vybraného řešení .....</b>	<b>86</b>
5.1	Zakládání světlometu.....	86
5.2	Montáž odstředivé spojky.....	87
5.3	Manipulace a orientace elektronické jednotky .....	89
	<b>Závěr .....</b>	<b>91</b>
	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>93</b>
	<b>Přílohy.....</b>	<b>96</b>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Robot LBR Iiwa [11].....	17
Obrázek 2 Robot spolupracující s člověkem [2].....	18
Obrázek 3 Schunk Co-Act EGP-C [15].....	29
Obrázek 4 Yumi gripper [16].....	29
Obrázek 5 OnRobot RG2 [17] .....	30
Obrázek 6 Zimmer HRC-EP [18] .....	30
Obrázek 7 RobotiQ 2F-85 [19].....	30
Obrázek 8 OnRobot VG 10 [20].....	31
Obrázek 9 KSC gripper [21].....	32
Obrázek 10 Schmalz cobot gripper [22] .....	32
Obrázek 11 Empire robotics Verseball [23] .....	33
Obrázek 12 Layout pracoviště A .....	35
Obrázek 13 Objekt manipulace-světlomet (1) .....	37
Obrázek 14 Objekt manipulace-světlomet (2) .....	37
Obrázek 15 Založení světlometu .....	38
Obrázek 16 Založení přepravního boxu.....	38
Obrázek 17 Koncepce efektoru_ A-box .....	40
Obrázek 18 Koncepce efektoru_ B-box.....	41
Obrázek 19 Koncepce efektoru_ C-box.....	42
Obrázek 20 Koncepce efektoru_ A-světlomet.....	43
Obrázek 21 Koncepce efektoru_ B-světlomet.....	44
Obrázek 22 Koncepce efektoru_ C-světlomet.....	45
Obrázek 23 Koncepce efektoru_ D-světlomet.....	46
Obrázek 24 Layout pracoviště B .....	47
Obrázek 25 Detail pracoviště B (1) .....	48
Obrázek 26 Detail pracoviště B (2) .....	48
Obrázek 27 Objekt manipulace-motor.....	50
Obrázek 28 Objekt manipulace-odstředivá spojka .....	50
Obrázek 29 Koncepce efektoru_ A-montáž spojky .....	52

---

Obrázek 30 Koncepce efektoru_ B-montáž spojky .....	53
Obrázek 31 Koncepce efektoru_ C-montáž spojky .....	54
Obrázek 32 Koncepční layout pracoviště bin pickingu .....	56
Obrázek 33 Zařízení EOL .....	56
Obrázek 34 Objekt manipulace-konfigurace 1 .....	58
Obrázek 35 Objekt manipulace-konfigurace 2-High .....	58
Obrázek 36 Objekt manipulace-konfigurace 3-Low .....	59
Obrázek 37 KLT přepravka a odložení OM .....	59
Obrázek 38 Koncepce efektoru_ A-elektronická jednotka .....	61
Obrázek 39 Koncepce efektoru_ B-elektronická jednotka .....	62
Obrázek 40 Koncepce efektoru_ C-elektronická jednotka .....	63
Obrázek 41 YuMi diagram zatížení efektoru [16] .....	68
Obrázek 42 Uvažované uchopení OM .....	69
Obrázek 43 Rozložení sil .....	71
Obrázek 44 Ukázka čelistí .....	71
Obrázek 45 Ukázka zhotovených čelistí 3D tiskem .....	72
Obrázek 46 Čelist s lepenou vrstvou pryže .....	73
Obrázek 47 Čelist s vloženou částí pryže .....	73
Obrázek 48 Čelist namáčená v PVC lázni .....	73
Obrázek 49 Zatížení plastové čelisti .....	74
Obrázek 50 Napětí čelisti .....	75
Obrázek 51 Návrh přísavkového efektoru .....	77
Obrázek 52 Pneumatický obvod efektoru .....	78
Obrázek 53 Sestava efektoru na rameni UR10 .....	78
Obrázek 54 Realizace efektoru .....	79
Obrázek 55 Testování efektoru .....	79
Obrázek 56 Skenování OM .....	80
Obrázek 57 Vakuové sací ventily .....	80
Obrázek 58 Uvažovaná úprava efektoru .....	81
Obrázek 59 Verze efektoru .....	82
Obrázek 60 Realizace efektoru (2) .....	82

---

---

Obrázek 61 Testování efektoru (2) .....	83
Obrázek 62 Efektor s jednou přísavkou.....	84
Obrázek 63 Čelist kolaborativního efektoru .....	87
Obrázek 64 Pneumatický efektor pro UR10 .....	89

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Výhody a nevýhody cobotů .....	19
Tabulka 2 Přehled parametrů vybraných cobotů .....	19
Tabulka 3 Příklady mechanických a elektrických nebezpečí [8] .....	23
Tabulka 4 Hodnoty efektivní tuhosti a hmotnosti [10] .....	26
Tabulka 5 Biomechanické limity [10] .....	27
Tabulka 6 Maximální hodnoty přenesené energie [10] .....	28
Tabulka 7 Srovnání parametrů elektro. kolaborativních chapadel .....	31
Tabulka 8 Srovnání parametrů pneumatických kolaborativních chapadel .....	33
Tabulka 9 Obecné požadavky efektorů .....	34
Tabulka 10 Technické informace o pracovišti A .....	36
Tabulka 11 Požadavky efektoru na zakládání světlometů .....	39
Tabulka 12 Kritéria posouzení koncepcí zakládání světlometů .....	40
Tabulka 13 Hodnocení koncepce_ A-box .....	41
Tabulka 14 Hodnocení koncepce_ B-box .....	42
Tabulka 15 Hodnocení koncepce_ C-box .....	43
Tabulka 16 Hodnocení koncepce_ A-světlomet .....	44
Tabulka 17 Hodnocení koncepce_ B-světlomet .....	45
Tabulka 18 Hodnocení koncepce_ C-světlomet .....	46
Tabulka 19 Technické informace o pracovišti B .....	49
Tabulka 20 Požadavky efektoru na montáž odstředivé spojky .....	51
Tabulka 21 Kritéria posouzení koncepcí montáže spojky .....	52
Tabulka 22 Hodnocení koncepce_ A-montáž spojky .....	53
Tabulka 23 Hodnocení koncepce_ B-montáž spojky .....	54
Tabulka 24 Hodnocení koncepce_ C-montáž spojky .....	55
Tabulka 25 Technické informace o pracovišti C .....	57
Tabulka 26 Požadavky efektoru na manipulaci elektronické jednotky .....	60
Tabulka 27 Kritéria posouzení koncepcí pro manipulaci elektro krytů .....	61
Tabulka 28 Hodnocení koncepce_ A-elektronická jednotka .....	62
Tabulka 29 Hodnocení koncepce_ B-elektronická jednotka .....	63
Tabulka 30 Hodnocení koncepce_ C-elektronická jednotka .....	64

---

Tabulka 31 Bodování kritérií .....	65
Tabulka 32 Příklad výpočtu (1) .....	65
Tabulka 33 Příklad výpočtu (2) .....	65
Tabulka 34 Příklad výpočtu (3) .....	65
Tabulka 35 Vybrané parametry koncepcí pracoviště B .....	66
Tabulka 36 Výsledné hodnocení pracoviště B .....	67
Tabulka 37 Vybrané parametry koncepcí pracoviště C .....	67
Tabulka 38 Výsledné hodnocení pracoviště C .....	67
Tabulka 39 Určení koeficientu bezpečnosti [27] .....	69
Tabulka 40 Hodnoty vstupující do výpočtu čelistí .....	69
Tabulka 41 Použitelné materiály čelisti YuMi .....	74
Tabulka 42 Vstupující hodnoty výpočtu přísavek .....	76
Tabulka 43 Výpočet velikosti ejektoru .....	77
Tabulka 44 Výhody a nevýhody řešení motáže odsředivé spojky .....	87

## Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Význam	Jednotka
$a$	zrychlení	$[\text{m/s}^2]$
$f$	koeficient tření	$[-]$
$F$	síla	$[\text{N}]$
$F_o$	odstředivá síla	$[\text{N}]$
$F_s$	setrvačná síla	$[\text{N}]$
$g$	gravitační zrychlení	$[\text{m/s}^2]$
$G$	tíhová síla	$[\text{N}]$
$k$	bezpečnostní koeficient	$[-]$
$m$	hmotnost	$[\text{kg}]$
$N$	normálová síla	$[\text{N}]$
$R$	poloměr	$[\text{m}]$
$s$	dráha	$[\text{m}]$
$T$	třecí síla	$[\text{N}]$
$t$	čas	$[\text{s}]$
$U$	napětí	$[\text{V}]$
$U_{\text{výp}}$	výpočtová uchopovací síla	$[\text{N}]$
$v$	rychlost	$[\text{m/s}]$
$Y$	Yongův modul	$[\text{MPa}]$
$\varepsilon$	úhlové zrychlení	$[\text{rad/s}^2]$
$\mu$	Poissonova konstanta	$[-]$
$\rho$	hustota	$[\text{g/cm}^3]$
$\varphi$	úhlová dráha	$[\text{rad}]$
$\omega$	úhlová rychlost	$[\text{rad/s}]$

## Slovník termínů

3D	Trojrozměrný či trojdimenzionální prostor, který lze popsat pomocí třech základních rozměrů
Bin picking	Automatizované odebrání dílů za pomoci skenování pracovního prostoru
CAD	Computer aided design – počítačem podporované projektování
Cobot	Collaborative robot – robot spolupracující s člověkem v daném pracovním prostoru
Datasheet	Katalogový list, popisující technické charakteristiky výrobku, stroje nebo zařízení
DOF	Degrees of Freedom – počet stupňů volnosti
Efektor	Koncové zařízení, vykonávající daný úkol, uchopovací člen
ISO	International Organization for Standardization – mezinárodní organizace pro normalizace
OM	Objekt manipulace
RTP	Robotizovaná technologická pracoviště

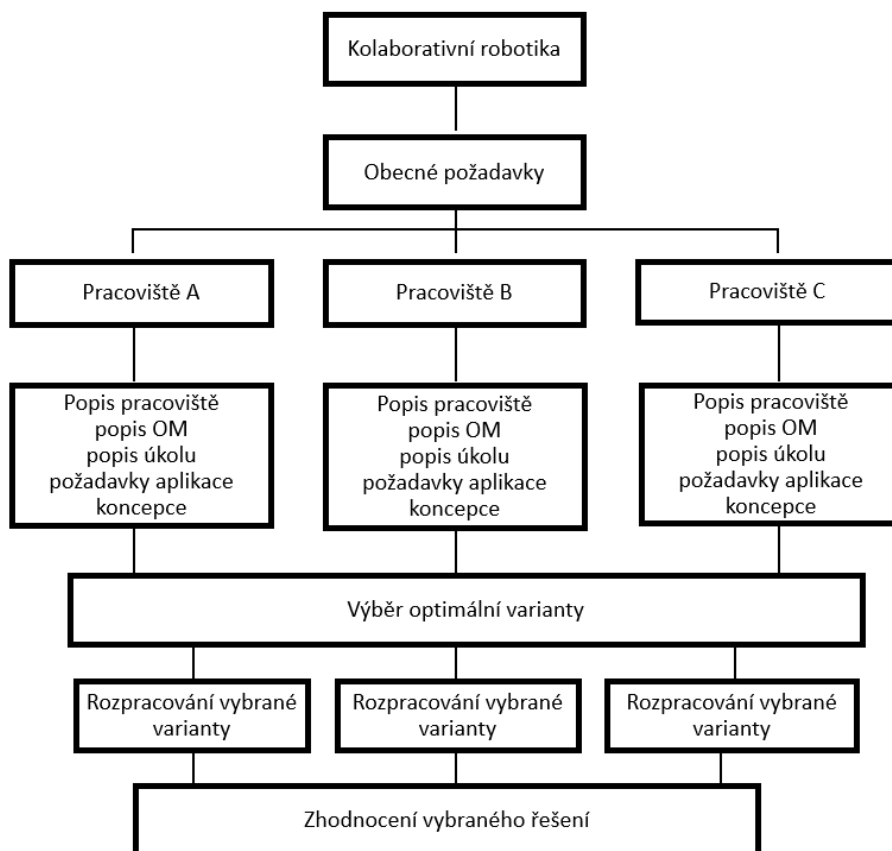


## Úvod

Tato diplomová práce se věnuje kolaborativní robotice. Popisuje rozdíly mezi průmyslovým a kolaborativním řešením, dále popisuje jednotlivé aplikace, pro které je možné využít kolaborativní robot a metody kolaborativního provozování robotů. V rámci kolaborativní robotiky se daná práce zaměřuje na koncová zařízení, tzv. efektory a jsou zde popsány jednotlivá technická řešení, která se v současné době označují jako kolaborativní a splňují požadavky technické specifikace ISO/TS 15066. Na základě těchto informací, informací z technických norem a specifikací jsou určeny obecné požadavky na kolaborativní efektor.

Cílem práce je pak návrh efektoru pro robotizovaná pracoviště, která k plnění daného úkolu využívají kolaborativní roboty. V rámci návrhu je potřeba analyzovat pracoviště, popsat daný úkol, objekt manipulace a definovat požadavky potřebné k návrhu. Následující postup zahrnuje vypracování jednotlivých koncepcí, rozhodnutí o optimální variantě, detailní zpracování, následnou realizaci a testování.

Pro přehlednost bylo vytvořeno schéma, které znázorňuje strukturu dané práce.



# 1 Kolaborativní robotika – analýza současného stavu

Kapitola se zabývá definicí kolaborativního robotu, rozdíly oproti klasickým průmyslovým robotům. Jsou zde popsány výhody a nevýhody kolaborativních robotů oproti průmyslovým, technické parametry vybraných kolaborativních robotů a aplikace, ke kterým je možno tyto roboty využít.

## 1.1 Kolaborativní robot

Spolupracující neboli kolaborativní robot (z angl. Collaborative robot) je navržen tak, aby spolupracoval s lidským protějškem. Obvykle se vyznačují lehkou a kompaktní konstrukcí, kterou lze snadno přemístit a přeprogramovat k plnění nového úkolu. Tento typ robotů je specifický svým tvarem oproti klasickým průmyslovým robotům. Kolaborativní robot je navržen tak aby jeho konstrukce eliminovala ostré a střížné hrany. Části robotu jsou vyrobeny z bezpečných materiálů např.: měkčená pryž, plasty a pěnové materiály, sloužící k pohlcení energie při kolizi s člověkem, nebo jsou těmito materiály jen pokryty.

[1]



Obrázek 1 Robot LBR Iiwa [11]

Rozdíl oproti klasickým průmyslovým robotům je v bezpečnosti. Klasický robot je ohraničen pomocí bezpečnostních plotů a senzorů, rovněž je doplněn o řadu příslušenství zajišťující jeho pracovní prostor. Ten musí být zabezpečen tak, aby se zabránilo vstupu člověka do pracovního prostoru robotu.

Oproti tomu má kolaborativní robot sdílený pracovní prostor s člověkem. Díky detekčním senzorům a bezpečnostním funkcím dokáže detekovat pohyb člověka v pracovišti a adekvátně na tuto informaci zareagovat. Je také vybaven senzory, které při zaznamenání vyššího odporu či vnější síly zastaví pohyb stroje.[2]



Obrázek 2 Robot spolupracující s člověkem [2]

Ačkoliv jsou kolaborativní roboty bezpečné pro součinnost s člověkem, mohou člověku způsobit zranění. Zejména pak při jejich nesprávném použití v daných aplikacích, při ignorování bezpečnostních předpisů, při uchopení a manipulaci s ostrým či špičatým předmětem atd.

V souladu s bezpečnostními normami ISO 10218 a v rámci technické specifikace ISO/TS 15066 existují čtyři základní úrovně provozu kolaborativního robotu. [4][8]

- Bezpečnostně klasifikované monitorované zastavení
- Ruční vedení
- Monitorování rychlosti a separace
- Omezení výkonu a síly






Na základě dostupných informací poskytovanými výrobcí, byla sestavena tabulka výhod a nevýhod kolaborativních robotů oproti tradičním průmyslovým robotům.[3]

Tabulka 1 Výhody a nevýhody cobotů

Výhody	Nevýhody
Jednoduché programování	Vysoká cena
Absence bezpečnostního oplocení a dalšího vybavení	Velké množství příslušenství k dosáhnutí efektivity
Sdílený pracovní prostor s člověkem	Nízká tuhost a odolnost
Ovládání a práce s robotem	Malé nosnosti a rychlosti
Zastavení či zpomalení při kontaktu s člověkem	Menší možnost využití oproti průmyslovým robotům
Menší zastavěná plocha pracoviště	
Menší rozměry a vlastní hmotnost	
Materiály pohlcující energii nárazu	

Výrobci kolaborativních robotů je celá řada. Mezi přední výrobce se řadí společnost Fanuc, ABB, Universal Robotics, Kuka, Yaskawa a další. Na základě parametrů poskytovaných výrobci, byla sestavena tabulka se základními parametry vybraných kolaborativních robotů.

Tabulka 2 Přehled parametrů vybraných cobotů

					
Parametry	ABB Yumi [16]	CR-35iA [12]	UR 10 [13]	KUKA Iiwa [11]	TX-90L [14]
Počet os [-]	2x7	6	6	7	6
Nosnost [kg]	0,5	35	10	14	15
Hmotnost [kg]	38	990	28,9	29,5	117
Dosah [mm]	500	1813	1300	931	1200
Rychlost [m/s]	0,15	0,75	1	-	11,5

Kolaborativní roboty je možno využít při jednoduchých či složitějších aplikacích, jako je například:

### Manipulace

Jedná se o jeden z nejobvyklejších úkolů, kdy opakované fyzické pohyby a namáhavost práce by mohly vést k úrazům. Přemísťování daných objektů manipulace je ideálním úkolem pro kolaborativního robota se systémem koncového efektoru. Při složitějších aplikacích jde robot rozšířit o kamerový systém.[5][6]

**Obsluha stroje**

Obsluha výrobního zařízení je pro člověka zdoluhavý únavný proces, kde by jej mohl nahradit kolaborativní robot. Robot by mohl provádět výměnu nástroje, zakládání materiálu do stroje. Zároveň může robot obsluhovat více strojů zároveň a může být připojen pomocí stejného rozhraní přímo k danému stroji.[5][6]

**Balení a paletizace**

Jedná se o opakující se monotónní úkol, který může zahrnovat balení objektů do krabic či folií, přemísťování daných objektů na paletu a připravovat zásilky k expedici. Při malém zatížení, představují tyto úkoly vhodnou aplikaci pro kolaborativního robota.[5][6]

**Montáž**

Jde o vhodný úkol pro kolaborativního robota z hlediska přesnosti polohování, opakovatelnosti a sdílenému pracovnímu prostoru s člověkem. Robot může vykonávat zakládání dílů do přípravků, manipulaci s jednotlivými celky, montáž dílčích částí s využitím montážních nástrojů. Ve spolupráci s člověkem dokáže tento proces zrychlit a zefektivnit.[5][6]

**Kontrola kvality**

Proces zahrnuje celkovou kontrolu daného objektu. Kolaborativní robot napomáhá ke zkvalitnění tohoto procesu. Jeho úkol spočívá v ověřování daného objektu a porovnání s CAD modelem, kontrole pomocí kamer s vysokým rozlišením a rozpoznáním obrazu.[5][6]

**Procesní a dokončovací úkoly**

Mezi procesní úkol řadíme úkol, ke kterému je zapotřebí nástroj k interakci s daným objektem např.: lepení, leštění, přesný pohyb nástroje po dané trajektorii atd. [5][6]

**Bin picking**

Bin picking je úloha, při které robot spolupracuje s kamerovým systémem. Rameno robotu vybírá objekty dle předchozího snímání kamerou.[7]

## 1.2 Požadavky bezpečnosti

V této kapitole jsou uvedeny částečné výpisy, poznámky, obecná ustanovení i technické specifikace zabývající se kolaborativní robotikou, zejména zabývající se analýzou rizik, požadavky na bezpečnost a všeobecnými i konkrétními požadavky na konstrukci kolaborativních koncových efektorů.

Jednotlivé výpisy obsahují informace z technických norem ISO 10218-1;2 dále pak technickou specifikaci ISO/TS 15066:2016.

### 1.2.1 ISO 10218-1

Tato norma specifikuje požadavky a směrnice pro základní bezpečnou konstrukci, ochranná opatření a informace pro použití průmyslových robotů. Popisuje základní nebezpečí spojená s roboty a poskytuje požadavky k jejich eliminaci nebo přiměřené omezení rizik spojených s těmito nebezpečími.[8]

#### Termíny a definice:

##### Průmyslový robot

Automaticky ovládaný, re-programovatelný, víceúčelový manipulátor, programovatelný ve třech nebo více osách, který může být pevný, nebo mobilní, určený k použití v průmyslové automatizaci.

Poznámka 3: Mezi další průmyslové roboty jsou považována tato zařízení:

- ručně vedené roboty;
- manipulační části robotů;
- spolupracující roboty.

##### Koncový efektor

Zařízení speciálně navržené pro připojení k mechanickému rozhraní, které robotu umožňuje vykonávat svůj úkol, např.: chapadlo, šroubovák, svařovací hlava, stříkací pistole.[8]

#### Identifikace nebezpečí:

Norma obsahuje seznam nebezpečí, která mohou být spojena s roboty. Musí být provedena analýza nebezpečí pro identifikaci jakýchkoliv nebezpečí, která se mohou vyskytnout.

- Zamyšlené operace robotu, včetně učení, údržby, seřizování a čištění;
- Neočekávaná spuštění;
- Přístup osob ze všech směrů;
- Rozumně předvídatelné chybné užití robotu;
- Porucha v ovládacím systému;
- Tam, kde je to nezbytné, nebezpečí spojená se specifickou aplikací robotu.

Rizika musí být eliminována nebo snížena zaprvé konstrukcí nebo jinou změnou, následně bezpečnostní ochranou a dalšími doplňujícími opatřeními. [8]

### **Požadavky bezpečnosti:**

Robot musí být konstruován v souladu s principy ISO 12100 pro relevantní nebezpečí. Robot musí být navržen a konstruován tak aby splňoval dané požadavky:

- Součásti přenosu síly (nebezpečí vyplývající z absence ochranných krytů pohyblivých se částí);
- Ztráta energie (ztráta nebo kolísání dodávky energie nesmí způsobit nebezpečí, upuštění objektu atd.);
- Požadavky provozní spolupráce (Robot pro provozní spolupráci musí poskytovat vizuální indikaci, bezpečné monitorované zastavení, ruční vedení, monitorování rychlosti a polohy);
- Omezení síly (je-li překročen jakýkoliv mezní parametr, musí být vydán příkaz k ochrannému zastavení);
- Pokud je součástí vybavení ruční vedení, musí být umístěno blízko koncového efektoru a musí být vybaveno nouzovým zastavením a souhlasným povelovým zařízením.

V normě je uveden seznam nebezpečí (mechanických, elektrických, tepelných a dalších) a příklad nebezpečí v tabulce. Tabulka níže obsahuje pouze několik vypsanych nebezpečí.[8]

Tabulka 3 Příklady mechanických a elektrických nebezpečí [8]

	Příklad nebezpečí	
	Původ	potenciální následky
Mechanická nebezpečí	Pohyb koncového efektoru nebo jakékoliv pohyblivé části robota	stlačení, stříh, navinutí, náraz, tření, odření
	Pohyb nebo rotace ostrého nástroje na koncovém efektoru	pořezání nebo uříznutí
	Manipulace s výrobky a materiály	vtažení nebo zachycení
	Porucha koncového efektoru	bodnutí nebo propíchnutí
	Nechtěné uvolnění nástroje	vysokotlaké vystříknutí kapaliny/plynu
	Pohyb částí s ostrými hranami uchycenými na robotu	
	Mezi koncovým efektozem a jakýmkoliv pevným objektem	
	Kontakt s živými částmi nebo spoji	elektrický šok
	Vystavení elektrickému oblouku	popálení
Elektrická nebezpečí	Kontakt s diskretními součástmi v elektronických obvodech	vdechnutí toxického kouře
	Nejasnosti plynoucí z různých napětí uvnitř systému	

### 1.2.2 ISO 10218-2

Norma specifikuje bezpečnostní požadavky na integraci průmyslových robotů a systémů tak, jak je definováno v ISO 10218-1. Integrace zahrnuje:

- Konstrukci, výrobu, instalaci, provoz a údržbu;
- Nezbytné informace pro konstrukci, výrobu, instalaci, provoz a údržbu robotu nebo buňky;
- Součásti zařízení průmyslového robotu nebo buňky. [9]

#### Termíny a definice:

#### Spolupracující robot

Robot navržený pro přímou spolupráci s člověkem uvnitř určeného pracovního prostoru spolupráce.

#### Pracovní prostor spolupráce

Pracovní prostor uvnitř zabezpečeného prostoru, kde robot a člověk provádějí úkoly současně během výrobního provozu.[9]

#### Identifikace nebezpečí:

Nebezpečí mohou být způsobena specifickými aplikacemi a integrací systému robotu s ostatními stroji. Tato nebezpečí musí být řešena individuálně s posouzením rizika.



Pro identifikaci nebezpečí je nezbytné posoudit rizika spojená se systémem robotu při aplikaci příslušných opatření pro přiměřené snížení tohoto rizika. Opatření pro snížení rizika se zakládají na těchto základních principech:

- Eliminace nebezpečí konstrukcí nebo snížení jejich rizik;
- Bezpečnostní ochrana k zabránění kontaktů obsluhy s nebezpečím nebo zajištění, aby se nebezpečí dostalo do bezpečného stavu před kontaktem s obsluhou;
- Poskytnutí dodatečných ochranných opatření jako informací pro použití, zaškolení, návěští, osobní ochranné zařízení atd. [9]

#### **Požadavky bezpečnosti:**

Vlivem potenciálního omezení prostorového oddělení člověka a robotu v pracovním prostoru spolupráce, může během provozu nastat fyzický kontakt mezi robotem a člověkem. Integrátor musí provést posouzení rizika musí zvážit celou úlohu spolupráce a pracovního prostoru včetně následujících:

- Charakteristika robotu (zatížení, rychlost, síla, výkon atd.);
- Nebezpečí koncového efektoru, včetně obrobku (ergonomické provedení, ostré hrany, výčnělky, práce s výměnou nástroje);
- Konstrukce přípravků, umístění svěrek a jejich provoz;
- Konstrukce a umístění jakéhokoli ručně ovládaného vodícího zařízení (přístupnost, ergonomie atd.).

V normě jsou definovány požadavky provozní spolupráce s člověkem. Tyto požadavky zahrnují čtyři základní principy:

- Bezpečnost monitorovaného zastavení (definování bezpečnostních zón, přiblížení dílu ke koncovému efektoru);
- Ruční vedení (jasná viditelnost na pracovní prostor, povel k bezpečnému monitorovanému zastavení, vodící zařízení dle ISO 10218-1);
- Monitorování rychlosti a separace (udržování bezpečné separace mezi člověkem a robotem, rychlost robotu, minimální vzdálenost separace atd.);
- Omezení výkonu a síly konstrukcí (parametry výkonu, síla, ergonomie musí být určeny posouzením rizika). [9]

### 1.2.3 ISO/TS 15066

Technická specifikace určující bezpečnostní požadavky pro spolupracující robotické systémy a pracovní prostředí a doplňuje požadavky a pokyny k provozování spolupracujících robotů dle ISO 10218-1 a ISO 10218-2.[10]

#### **Termíny a definice:**

##### **Výkon a mechanická síla**

Rychlost práce nebo množství energie spotřebované za jednotku času.

Poznámka 1: Nevztahuje se na elektrický výkon a elektronické zařízení jako je např.: motor.

##### **Kvazi-statický kontakt**

Kontakt mezi člověkem a částí robotického systému, přičemž část těla člověka může být sevřena mezi pohybující se části tohoto systému a jinou fixní, nebo pohybující se částí robota.

##### **Přechodový kontakt**

Kontakt mezi člověkem a částí robotického systému, kde žádná část těla člověka není sevřena a člověk může uhnout před pohybující se částí robotického systému.

##### **Model těla**

Reprezentace lidského těla skládající se z jednotlivých tělesných segmentů charakterizovanými biomechanickými vlastnostmi. [10]

#### **Identifikace nebezpečí:**

Rizika vytvořené specifickými aplikacemi pro spolupráci jako je např.: montáž, broušení, obrábění atd. musí být řešena individuálně prostřednictvím posouzením těchto rizik. Proces identifikace nebezpečí musí zahrnovat:

- Nebezpečí spojená s robotem včetně:
  - Vlastností robotu (rychlost, síla, hybnost, výkon, geometrie atd.)
  - Kvazi-statické kontaktní podmínky
- Nebezpečí související se systémem robotu:
  - Nebezpečí koncového efektoru, nedostatek ergonomického tvaru, ostré hrany, výčnělky, ztráta obrobku a práce s výměnou nástroje

- Nebezpečí související s aplikacemi:
  - Nedostatek ergonomického designu [10]

### Požadavky bezpečnosti:

Požadavky bezpečnosti vyplývají dle specifických rizik dané aplikace pro spolupracující roboty a systémy spolupracujících robotů.

Technická specifikace definuje hodnoty efektivní hmotnosti a tuhosti pro model člověka.

Tabulka 4 Hodnoty efektivní tuhosti a hmotnosti [10]

Oblast těla	Efektivní tuhost K [N/mm]	Efektivní hmotnost mH [kg]
Lebka a čelo	150	4,4
Obličej	75	4,4
Krk	50	1,2
Záda a ramena	35	40
Hrudník	25	40
Břicho	10	40
Pánev	25	40
Paže a loketní klouby	30	3
Předloktí a zápěstí	40	2
Ruce a prsty	75	0,6
Stehna a kolena	50	75
Dolní končetiny	60	75
POZNÁMKA: Hodnota hmotnosti pro stehna, kolena a dolní končetiny jsou nastaveny na celkovou váhu těla, protože tyto části těla jsou ovlivněny zpětným rázem nebo zatížením od nárazu, zatímco operátor stojí.		

Technická specifikace také definuje biomechanické limity. Jde o dovozená zatížení na jednotlivé části lidského těla s ohledem na typ kontaktu.

Tabulka 5 Biomechanické limity [10]

Část těla	Specifická oblast	Kvazi-statický kontakt		Přechodový kontakt	
		Maximální dovolený tlak $p_s$ [N/cm <sup>2</sup> ]	Maximální dovolená síla N	Násobitel max. dovoleného tlaku $p_T$	Násobitel max. dovolené síly $F_T$
Lebka a čelo	Střed čela	130	130	Nelze použít	Nelze použít
	Spánek	110		Nelze použít	
Obličej	Žvýkácí svaly	110	65	Nelze použít	Nelze použít
Krk	Krční sval	140	150	2	2
	Sedmý krční obratel	210		2	
Záda a ramena	Ramenní kloub	160	210	2	2
	Pátý bederní obratel	210		2	
Hrudník	Prsní kost	120	140	2	2
	Prsní sval	170		2	
Břicho	Břišní sval	140	110	2	2
Pánev	Pánevní kost	210	180	2	2
Paže a loketní klouby	Deltový sval	190	150	2	2
	Pažní kost	220		2	
Předloktí a zápěstí	Vřetenní kost	190	160	2	2
	Sval předloktí	180		2	
	Pažní nervy	180		2	
Ruce a prsty	Bříško ukazováčku D	300	140	2	2
	Bříško ukazováčku ND	270		2	
	Koncový kloub ukazováčku	280		2	
	Svaly dlaně	200		2	
	Dlaň D	260		2	
	Dlaň ND	260		2	
	Hřbet ruky D	200		2	
	Hřbet ruky ND	190		2	
Stehna a kolena	Stehenní sval	250	220	2	2
	Češka	220		2	
Dolní končetiny	Střed holeně	220	130	2	2
	Lýtkový sval	210		2	

Technická specifikace dále definuje maximální hodnotu přenesené energie na danou část lidského těla. Maximální dovolená energie jako funkce maximální síly se vypočte dle následujícího vztahu:[10]

$$E = \frac{F_{max}^2}{2k}$$

- E je přenosová energie
- $F_{max}$  je maximální kontaktní síla pro specifickou část těla
- k je efektivní tuhost pro specifickou část těla

Tabulka 6 Maximální hodnoty přenesené energie [10]

Část těla	Maximální přenesená energie E [J]
Lebka a čelo	0,23
Obličej	0,11
Krk	0,84
Záda a ramena	2,5
Hrudník	1,6
Břicho	2,4
Pánev	2,6
Paže a loketní klouby	1,5
Předloktí a zápěstí	1,3
Ruce a prsty	0,49
Stehna a kolena	1,9
Dolní končetiny	0,52

### 1.3 Kolaborativní efekторы

K vykonání dané operace potřebuje robot subsystém koncového efektoru, který umožňuje uchopení zadaného objektu manipulace. Efekторы pro kolaborativní robotizovaná pracoviště musí být konstruovány tak, aby splňovaly veškeré požadavky na bezpečnost ve spolupracujícím prostředí. Ve většině případů jsou tyto efekторы konstruovány jako univerzální chapadla pro uchopení různých objektů. Součástí těchto efektorů pak mohou být různá příslušenství, jako jsou například integrované senzory, kamery, kompenzátory a systém automatické výměny.

Pro koncové efekторы se využívají převážně elektrický a pneumatický zdroj energie. Vybraná kolaborativní koncová zařízení:

#### Elektrické

##### Co-act EGP-C

Jde o elektrické dvou čelistové paralelní chapadlo vyvinuto pro spolupracující operace od firmy SCHUNK. Používá se pro uchopování a přemisťování malých a středně velkých objektů. Certifikováno v souladu s technickou specifikací ISO/TS 15066. Chapadlo umožňuje nastavit uchopovací sílu a to ve čtyřech stupních. Obsahuje integrované indukční snímače pro monitorování poloh „otevřeno“ a „zavřeno“. Řízeno pomocí 24V ovládaní s digitálním I/O. [15]



Obrázek 3 Schunk Co-Act EGP-C [15]

### YuMi gripper

Koncový efektor robota YuMi od společnosti ABB byl vyvinut pro operace zahrnující manipulaci s drobnými objekty a sestavování dílčích celků. Design efektoru umožňuje přímý kontakt s člověkem ve spolupracujícím prostoru. Jedná se o dvouprsté paralelní chapadlo vybaveno silo-momentovými senzory se zpětnou vazbou, součástí efektoru je i zabudovaná kamera. [16]



Obrázek 4 Yumi gripper [16]

### RG2

Efektor RG2 je dvouprstové chapadlo vyvinuté společností OnRobot pro bezproblémovou integraci se spolupracujícími roboty od společnosti Universal Robots. Efektor umožňuje nastavit uchopovací sílu, uchopovací zdvih a je schopen měřit šířku objektu a změřit, zda je objekt uchopen nebo ne. Tento efektor je vhodný pro aplikace, jako je montáž, manipulace a testování. [17]



Obrázek 5 OnRobot RG2 [17]

### HRC-EP

Dvou čelistové paralelní chapadlo vyvinuto pro spolupracující operace od firmy Zimmer Group. Mechanický samosvorný mechanismus prstů umožňuje bezpečné držení objektu manipulace i při výpadku energie. Redundantní ochrana pomocí patentovaných bezpečnostních čelistí a certifikováno v souladu s normou ISO/TS 15066. Vhodné pro manipulaci středních a menších objektů. [18]



Obrázek 6 Zimmer HRC-EP [18]

Dalšími zástupci z řad kolaborativních efektorů jsou například Hand-E nebo 2F-85 od firmy RobotiQ, speciálně navrženy pro kolaborativní robotická ramena od Universal Robots. Vyznačují se vysokým zatížením a zdvihem. Vhodné pro manipulaci, zakládání a montáž. [19]



Obrázek 7 RobotiQ 2F-85 [19]

Na základě dostupných parametrů kolaborativních chapadel byla sestavena tabulka s hlavními parametry.

Tabulka 7 Srovnání parametrů elektro. kolaborativních chapadel

	EGP-C	YuMi	RG2	HRC-EP	2F-85
Hmotnost [kg]	0,8	0,5	0,65	2	0,9
Zdvih [mm]	12	50	110	60	85
Uchopovací síla [N]	140	20	40	120	200
Kompatibilní robot	Fanuc, UR, Kuka	ABB	UR	UR, Kuka	UR

- Neuvedené hodnoty výrobcem daného zařízení

### Pneumatické

#### VG 10

Pneumatické chapadlo od společnosti OnRobot, speciálně navrženo pro spolupráci s roboty. Díky nastavitelné velikosti vakua je schopné uchopit různé objekty o různých velikostech. VG10 má vestavěné elektrické vakuové čerpadlo a je řízeno přímo z konektoru nástroje robota. Využívá vestavěné vakuové snímače, které poskytují zpětnou vazbu. [20]



Obrázek 8 OnRobot VG 10 [20]

#### KCS gripper

Chapadlo KCS od firmy Piab představuje flexibilní řešení chapadla přizpůsobeného pro spolupracující roboty. Využívá pěnovou technologii s omezovačem průtoku vzduchu pro manipulaci s velkým množstvím objektů. Toto chapadlo obsahuje systém rychlého připojení, integrované řídicí ventily a snímače podtlaku. [21]





Obrázek 9 KSC gripper [21]

### Cobot gripper

Chapadlo modulární konstrukce od firmy Schmalz pro spolupracující roboty obsahující ejektorové moduly nebo inteligentní vakuové spínače pro monitorování procesu. Použitím pružné pěny jako uchopovacího povrchu může zařízení bezpečně držet lepenku, krabice a strukturované součásti nebo součásti s vybránými a trojrozměrnými vnějšími tvary o hmotnosti až osm kilogramů. Díky zvětšené kontaktní ploše a sníženým rázovým účinkům splňuje chapadlo požadavky ISO TS 15066. [22]



Obrázek 10 Schmalz cobot gripper [22]

### Versaball

Chapadlo Versaball od společnosti Empire Robotics používá technologii známou jako granulované uvíznutí pro uchopení a uvolňování předmětů pomocí rychlé modulace tvrdosti. Veseball je vhodný pro testování a vyhodnocování aplikací. Jedná se o experimentální chapadlo, jehož výzkumné sady nejsou určeny pro plné nasazení v průmyslových aplikacích. [23]



Obrázek 11 Empire robotics Verseball [23]

Na základě dostupných parametrů kolaborativních chapadel byla sestavena tabulka s hlavními parametry.

Tabulka 8 Srovnání parametrů pneumatických kolaborativních chapadel

	VG 10	KSC	Schmalz	Versaball
Nosnost [kg]	10	20	8	9
Hmotnost[kg]	1,7	0,76	-	1,5
Tlak při 80% Vakua [MPa]	-0,810	-0,850	-	-0,550

- Neuvedené hodnoty výrobcem daného zařízení

## 2 Analýza daného úkolu

Kapitola popisuje základní analýzy tří řešených manipulačních úloh, kde jsou nasazeny kolaborativní roboty. Dále je zde popsáno zadané pracoviště, objekt manipulace, koncepce řešení a úloha, pro kterou bude konstruováno koncové zařízení kolaborativního robotu.

### 2.1 Obecné požadavky na aplikace

Pro daná řešení není možné určit jeden požadavkový list, neboť každý efektor musí plnit v rámci daného úkolu jinou funkci. Proto byl sestaven obecný požadavkový list vyplývající z výpisu norem ISO 10218-1;2 a technické specifikace ISO 15066, dále pak obecné požadavky na konstrukci efektorů pro RTP.

Jednotlivá řešení budou obsahovat konkrétní požadavkový list pro danou úlohu, specifikace a technické parametry.

Tabulka 9 Obecné požadavky efektorů

Oblast	Požadavky
Konstrukce	Minimalizace hmotnosti a momentů setrvačnosti efektoru
	Minimalizace vnějších rozměrů
	Zaručení přesné polohy a orientace OM
	Nezbytné krytování vnitřních mechanismů
	Vyvození dostatečné uchopovací síly pro bezpečné držení OM
	Koncová připojovací část efektoru dle ISO 9409-1
Ergonomie	Eliminace střížných hran efektoru
	Eliminace výčnělků efektoru
	Zaoblení ostrých přechodů a hran efektoru
	Využití bezpečných materiálů: měkčená pryž, pěnový materiál, plasty
Bezpečnost	Snížení negativních efektů při kvazi-statickému kontaktu efektoru s člověkem, použitím měkčených materiálů
	Při přechodovém kontaktu nesmí dojít poranění člověka
	Eliminace mechanického nebezpečí dle ISO 10218-1
	Eliminace elektrického nebezpečí dle ISO 10218-1
	Dodržení hodnot pro přenosovou energii E dle ISO/TS 15066
	Uchopovací síla nesmí překročit limitní hodnoty s ohledem na poškození OM nebo poranění člověka
	Při překročení limitních hodnot uchopovací síly musí být zajištěno bezpečné monitorované zastavení
	Kterákoliv závada nesmí vést ke ztrátě bezpečnostní funkce
	Zamezení kontaktu s živými částmi člověka s elektronikou efektoru [8]
	Zamezení kontaktu člověka s diskrétními součástmi v elektronických obvodech efektoru

## 2.2 Zakládání světlometu

Tato kapitola popisuje pracoviště A, kdy hlavním úkolem je analyzovat dané pracoviště, objekt manipulace a vykonávaný úkol. Na základě těchto informací jsou specifikovány požadavky pracoviště, kritéria výběru vhodné varianty a koncepční řešení pro plnění daného úkolu.

### 2.2.1 Popis pracoviště

Jedná se o hrubý layout pracoviště sloužící k zakládání světlometů do plastových přepravních boxů a následnou manipulaci s těmito přepravkami do drátěné transportní klece. V pracovišti se nachází kolaborativní robot Fanuc CR 35iA, neurčená dopravníková trať a vyhrazené místo pro drátěnou transportní klec.



Obrázek 12 Layout pracoviště A

Na dopravníkové trati přijíždějí světlomety na pracoviště, u této dopravníkové tratě stojí člověk, který má za úkol dané světlomety kontrolovat, pracoviště tak musí splňovat podmínky pro spolupracující pracoviště, neboť robot sdílí stejný pracovní prostor s člověkem.

Technické informace o pracovišti jsou znázorněny následující tabulkou hodnot parametrů jednotlivých komponent a periferií, vyskytujících se na pracovišti.

Tabulka 10 Technické informace o pracovišti A

Informace o pracovišti			
Komponent	Parametr	hodnota	jednotka
Obecné	Požadovaná životnost pracoviště	10	roky
	Roční objem výroby	180 000	ks
	Takt manipulačního cyklu	40	s
Fanuc CR 35iA	hmotnost	990	kg
	nosnost	35	kg
	dosah	1820	mm
	opakovatelnost	± 0,03	mm
	počet os	6	
	rychlost KR	250	mm/s
	rychlost AR	750	mm/s
	montáž	na podlahu	
	pracovní prostor	viz. Datasheet	
	Přepravní box	Rozměry	1025 x 492 x 262
		Hmotnost	2,75
		Materiál	PC
	Prostor uvnitř krabice na 1 světlomet	464,5 x 476	mm
Přepravní klec	Rozměry	1600 x 1150 x 850	mm
	Skládování boxů	3 sloupce / 2 řady	-
	Stěny	sklápěcí	-
Světlomet	Hmotnost	5	kg
	Rozměry	592 x 410 x 275	mm
	RPS body	NE	-
	N. prvky k úchopu	krycí sklo	-

### 2.2.2 Popis OM

Jedná se o blíže nespecifikovaný světlomet, definovaný pouze obálkou funkčních ploch. Největší část objektu manipulace tvoří plastové tělo světlometu a krycí sklo.

A close-up, slightly blurred photograph of the main plastic body of the lighting fixture. The body is dark, possibly black or dark grey, and has a curved, ergonomic shape. The text 'Detail obrázku podléhá utajení' is overlaid in a large, bold, black serif font.

**Detail obrázku  
podléhá utajení**

Obrázek 13 Objekt manipulace-světlomet (1)

Při manipulaci s takovýmto objektem je nutno zajistit pevné a bezpečné uchopení. Zároveň uchopovací prvky nesmí nijak poškodit krycí sklo. Z tohoto důvodu musí být eliminovány ostré hrany těchto prvků. Pokud bude uchopovací prvek v přímém kontaktu s krycím sklem světlometu, musí být potažen jelenicí.

A close-up, slightly blurred photograph of the same lighting fixture body from a different angle, showing more of its curved surface. The text 'Detail obrázku podléhá utajení' is overlaid in a large, bold, black serif font.

**Detail obrázku  
podléhá utajení**

Obrázek 14 Objekt manipulace-světlomet (2)

Největší část tvoří samotné plastové tělo světlometu, zde je nejvíce možných prvků pro uchycení. Vysoká tvarová složitost a konstrukční provedení těla znemožňuje využít některé ze zmiňovaných prvků.

### 2.2.3 Popis zadaného úkolu

Prvním úkolem je zakládat pravý a levý světlomet do plastového boxu pro jeho přepravu. Světlomet musí být v boxu pevně uchycen pro následnou přepravu. Při vkládání je důležitá poloha světlometu vůči zakládací desce uvnitř plastové přepravky. Světlomet se do plastové přepravky zakládá následujícím způsobem:



Obrázek 15 Založení světlometu

Druhá část úkolu je automatická výměna efektorů. Výměna efektoru pro manipulaci se světlometem za efektor pro manipulaci se samotným plastovým přepravním boxem. Přepravní box bude zakládán do drátěné transportní klece, kde budou přepravní boxy řazeny do sloupců v jednotlivých řadách.



Obrázek 16 Založení přepravního boxu

## 2.2.4 Požadavkový list aplikace

Efektory pro zakládání světlometu a manipulaci s přepravním boxem musí splňovat obecné požadavky viz. Tabulka 9 a zároveň musí dodržovat konkrétní požadavky na konstrukci efektoru viz. Tabulka 11.

Tabulka 11 Požadavky efektoru na zakládání světlometů

Požadavky efektoru			
Komponent	parametr	hodnota	jednotka
Přepravní box efektor	Nosnost	20	kg
	Hmotnost	max. 15	kg
	Síla úchopu	250	N
	Rozměry	1600 x 1150	mm
	Samosvornost	mechanická	-
Světlomet efektor	Nosnost	10	kg
	Hmotnost	max. 15	kg
	Rozměry	464,5 x 476	mm
	Síla úchopu	min. 150	N
	Povrch čelistí	jelenice	-
	Samosvornost	mechanická	-
Automatická výměna	Typ	WWR63F-B	-
	interface	EN ISO 9409-1	-
	manipulační hmotnost	50	Kg
	samosvornost	mechanická	-
	pneumatika	6	Ks
	Mr	200	Nm
	My	300	Nm
	Fa	7600	N



### 2.2.5 Koncepce řešení

Pro navržená koncepční řešení byla specifikována kritéria pro jejich vzájemné posouzení. Tyto kritéria vychází z obecného požadavkového listu a z požadavkového listu dané aplikace.

Tabulka 12 Kritéria posouzení koncepcí zakládání světlometů

	Kritérium	Význam
K1	<b>Zajištění úchopu</b>	Vyvození dostatečné uchopovací síly a samosvornosti mechanismu
K2	<b>Pasivní prvky</b>	Pasivní prvky bezpečnosti (úprava kontaktních ploch, použití bezpečných materiálů, tvarově vhodné prvky úchopu)
K3	<b>Ergonomie</b>	Eliminace střížných hran, výčnělků a ostrých přechodů
K6	<b>Hmotnost</b>	Minimalizace hmotnosti a momentů setrvačnosti
K7	<b>Rozměry</b>	Minimalizace vnějších rozměrů a vhodné prostorové uspořádání
K8	<b>Počet komponent</b>	Minimalizace počtů komponent daného zařízení
K9	<b>Cena</b>	Minimalizace výrobních a provozních nákladů

#### Varianta A-box

Efektor bude uchopovat přepravní box za středovou masivní část. Konstrukce obsahuje pneumatické dvoučelist'ové paralelní chapadlo, dvě masivní hliníkové čelisti s integrovanými senzory. Samotné chapadlo je mechanicky samosvorné, efektor pak bude připojen na mechanismus automatické výměny.

**Detail obrázku  
podléhá utajení**

Obrázek 17 Koncepce efektoru\_ A-box

Tabulka 13 Hodnocení koncepce\_ A-box

K1	<b>Zajištění úchopu</b>	Vyvození dostatečné uchopovací síly a samosvornosti mechanismu
		Síla vyvozená pneumatickým tělesem = 100 N
K2	<b>Pasivní prvky</b>	Použití bezpečných materiálů, tvarově vhodné prvky úchopu
		Uchop pomocí stlačení středového panelu, úprava ploch pro zvýšení koeficientu tření
K3	<b>Ergonomie</b>	Eliminace střížných hran, výčnělků a ostrých přechodů
		Bez střížných hran, bez výčnělků, eliminace ostrých hran
K4	<b>Hmotnost</b>	Minimalizace hmotnosti a momentů setrvačnosti
		Celková hmotnost = 5 kg
K5	<b>Rozměry</b>	Minimalizace vnějších rozměrů a vhodné prostorové uspořádání
		Celkové rozměry = 265x90x180 mm
K6	<b>Počet komponent</b>	Minimalizace počtů komponent daného zařízení
		2x čelist, pneumatické těleso, rám, interface, senzory
K7	<b>Cena</b>	Minimalizace výrobních a provozních nákladů
		Cena je stanovena dle počtu komponent, které navržený efektor obsahuje

### Varianta B-box

Dvoučelistové paralelní chapadlo bude uchopovat přepravní box za protilehlé otvory. Konstrukce obsahuje paralelní mechanismus, dvě tvarované čelisti k uchycení přepravního boxu za dané prvky v boxu a mechanismus pro automatickou výměnu efektorů. Efektor bude pohánět elektromotor, na jehož konci bude ozubené kolo spojeno s dvojicí ozubených hřebců pro synchronizaci pohybů. Tento mechanismus bude doplněn o vedení, na kterém budou umístěny čelisti.

**Detail obrázku  
podléhá utajení**

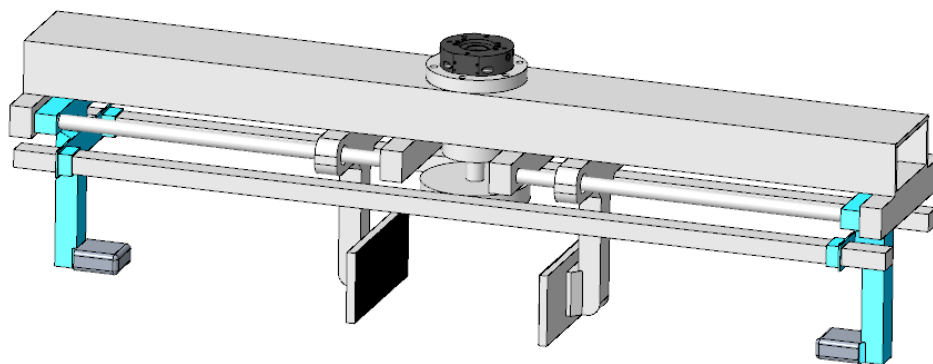
Obrázek 18 Koncepce efektoru\_ B-box

Tabulka 14 Hodnocení koncepce\_ B-box

K1	<b>Zajištění úchopu</b>	Vyvození dostatečné uchopovací síly a samosvornosti mechanismu
		Pro danou aplikaci 150 N uchopovací síla
K2	<b>Pasivní prvky</b>	Použití bezpečných materiálů, tvarově vhodné prvky úchopu
		Uchop za protilehlé otvory, při výpadku samosvornost a tvar čelisti v otvoru boxu
K3	<b>Ergonomie</b>	Eliminace střížných hran, výčnělků a ostrých přechodů
		Bez střížných hran, bez výčnělků, eliminace ostrých hran
K4	<b>Hmotnost</b>	Minimalizace hmotnosti a momentů setrvačnosti
		Celková hmotnost = 6,8 kg
K5	<b>Rozměry</b>	Minimalizace vnějších rozměrů a vhodné prostorové uspořádání
		Celkové rozměry = 210x1010x270 mm
K6	<b>Počet komponent</b>	Minimalizace počtů komponent daného zařízení
		2x čelist, hřebenový převod, vedení čelistí, motor, rám, interface, senzory
K7	<b>Cena</b>	Minimalizace výrobních a provozních nákladů
		Cena je stanovena dle počtu komponent, které navržený efektor obsahuje

### Varianta C-box

Efektor využívá kombinace uchopení za masivní střed boxu a zároveň uchopení za protilehlé otvory boxu. Konstrukce obsahuje paralelní mechanismus, dvě tvarované čelisti na uchopení protilehlých otvorů, dvě čelisti na uchopení středu a mechanismus pro automatickou výměnu efektorů.



Obrázek 19 Koncepce efektoru\_ C-box

Tabulka 15 Hodnocení koncepce\_C-box

K1	<b>Zajištění úchopu</b>	Vyvození dostatečné uchopovací síly a samosvornosti mechanismu
		Pro danou aplikaci 150 N uchopovací síla
K2	<b>Pasivní prvky</b>	Použití bezpečných materiálů, tvarově vhodné prvky úchopu)
		Uchopení za protější otvory + středový panel, mechanická samosvornost + pasivní čelisti
K3	<b>Ergonomie</b>	Eliminace střížných hran, výčnělků a ostrých přechodů
		Bez střížných hran, bez výčnělků, eliminace ostrých hran
K4	<b>Hmotnost</b>	Minimalizace hmotnosti a momentů setrvačnosti
		Celková hmotnost = 8,5 kg
K5	<b>Rozměry</b>	Minimalizace vnějších rozměrů a vhodné prostorové uspořádání
		Celkové rozměry = 1000x200x270 mm
K6	<b>Počet komponent</b>	Minimalizace počtů komponent daného zařízení
		4x čelist, hřebenový převod, vedení čelistí, motor, rám, interface, senzory
K7	<b>Cena</b>	Minimalizace výrobních a provozních nákladů
		Cena je stanovena dle počtu komponent, které navržený efektor obsahuje

### Varianta A-světlomet

Konstrukce efektoru vychází z tříčelistového paralelního mechanismu. Každá čelist je samostatně ovládána pneumatickým válcem. Dvě z čelistí nesou pevný člen, který z části kopíruje tvar krycího skla světlometu. Zbývající čelist nese pěnový doraz, kterým přitlačuje světlomet do pevných členů. Efektor je opatřen mechanismem pro automatickou výměnu efektorů.



Obrázek 20 Koncepce efektoru\_A-světlomet

Tabulka 16 Hodnocení koncepce\_ A-světlomet

K1	<b>Zajištění úchopu</b>	Vyvození dostatečné uchopovací síly a samosvornosti mechanismu
		Nastavitelná síla pneumatického pohonu, pro danou aplikaci = 150 N
K2	<b>Pasivní prvky</b>	Použití bezpečných materiálů, tvarově vhodné prvky úchopu
		Pěnová technologie zadního dorazu, krycí část skla
K3	<b>Ergonomie</b>	Eliminace střížných hran, výčnělků a ostrých přechodů
		Eliminace ostrých hran
K4	<b>Hmotnost</b>	Minimalizace hmotnosti a momentů setrvačnosti
		Celková hmotnost = 9kg
K5	<b>Rozměry</b>	Minimalizace vnějších rozměrů a vhodné prostorové uspořádání
		Celkové rozměry = 380 x 380 x 250
K6	<b>Počet komponent</b>	Minimalizace počtů komponent daného zařízení
		3x čelist, pěnový doraz, interface, pneumatické těleso, rám
K7	<b>Cena</b>	Minimalizace výrobních a provozních nákladů
		Cena je stanovena dle počtu komponent, které navržený efektor obsahuje

### Varianta B-světlomet

Světlomet do efektoru zakládá člověk, kdy světlomet nasadí na středící trny. Poté dá operátor signál robotu a světlomet zafixují pneumatické upínky. Následuje signál, že robot může pokračovat v zadané úloze a umístit světlomet do boxu. Po naplnění boxu, robot pomocí automatické výměny nástroje vymění zakládací efektor za manipulační. Efektor je opatřen mechanismem pro automatickou výměnu efektorů.



**Detail obrázku  
podléhá utajení**

Obrázek 21 Koncepce efektoru\_ B-světlomet

Tabulka 17 Hodnocení koncepce\_ B-světlomet

K1	<b>Zajištění úchopu</b>	Vyvození dostatečné uchopovací síly a samosvornosti mechanismu
		Nastavitelná síla pneumatických upínek, pro danou aplikaci = 150 N
K2	<b>Pasivní prvky</b>	Použití bezpečných materiálů, tvarově vhodné prvky úchopu
		Středící trny, pěnové opěrky, aretace pneumatických upínek
K3	<b>Ergonomie</b>	Eliminace střížných hran, výčnělků a ostrých přechodů
		Eliminace ostrých hran
K4	<b>Hmotnost</b>	Minimalizace hmotnosti a momentů setrvačnosti
		Celková hmotnost = 5,5 kg
K5	<b>Rozměry</b>	Minimalizace vnějších rozměrů a vhodné prostorové uspořádání
		Celkové rozměry = 600 x 420 x 250 mm
K6	<b>Počet komponent</b>	Minimalizace počtů komponent daného zařízení
		4x pneu upínka, 4x pěnová opěrka, 2x středící trn, základní rám, interface
K7	<b>Cena</b>	Minimalizace výrobních a provozních nákladů
		Cena je stanovena dle počtu komponent, které navržený efektor obsahuje

### Varianta C-světlomet

Varianta C využívá plochy, která kopíruje tvar krycího skla. Na této ploše je umístěna nafukovací obruč, která slouží k přizvednutí světlometu z lože a zároveň jako aktivní prvek úchopu. Díky pneumatickému tělesu obsahuje efektor dvě čelisti, kdy první čelist obsahuje zmíněnou krycí plochu a nafukovací obruč a druhá čelist obsahuje pěnový doraz. Díky tomuto dorazu dotlačuje světlomet do krycí plochy k místu nafukovací obruče. Efektor je opatřen mechanismem pro automatickou výměnu efektorů.



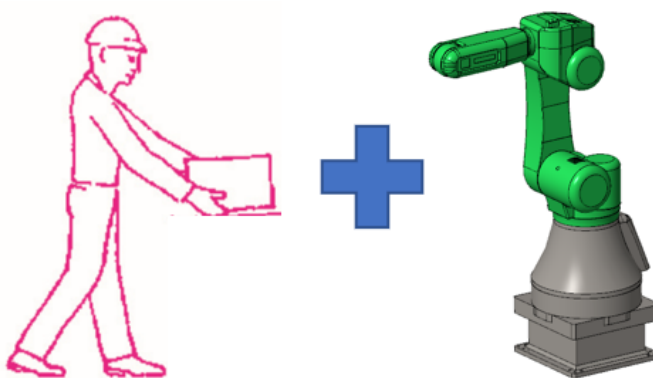
Obrázek 22 Koncepce efektoru\_ C-světlomet

Tabulka 18 Hodnocení koncepce\_ C-světlomet

K1	<b>Zajištění úchopu</b>	Vyvození dostatečné uchopovací síly a samosvornosti mechanismu
		Síla vyvozená pneumatickým tělesem = 250 N + nafukovací obruč
K2	<b>Pasivní prvky</b>	Použití bezpečných materiálů, tvarově vhodné prvky úchopu
		Pěnová technologie zadního dorazu, krycí část skla, nafukovací obruč
K3	<b>Ergonomie</b>	Eliminace střížných hran, výčnělků a ostrých přechodů
		Eliminace ostrých hran
K4	<b>Hmotnost</b>	Minimalizace hmotnosti a momentů setrvačnosti
		Celková hmotnost = 10 kg
K5	<b>Rozměry</b>	Minimalizace vnějších rozměrů a vhodné prostorové uspořádání
		Celkové rozměry = 450 x 420 x 250 mm
K6	<b>Počet komponent</b>	Minimalizace počtů komponent daného zařízení
		Pneumatické těleso, krycí část skla, nafukovací obruč, pěnový doraz
K7	<b>Cena</b>	Minimalizace výrobních a provozních nákladů
		Cena je stanovena dle počtu komponent, které navržený efektor obsahuje

### Varianta D-světlomet

Zakládání světlometu provádí operátor a robot přemísťuje pouze naplněný přepravní box a na místo manipulace doplní nový. Poté dá operátor robotu signál, že může pokračovat v zadané úloze. Díky ručnímu zakládání světlometu nepotřebuje robot systém automatické výměny efektoru, neboť pracuje pouze s manipulačním efektem.



Obrázek 23 Koncepce efektoru\_ D-světlomet

## 2.3 Montáž odstředivé spojky

Tato kapitola popisuje pracoviště B, kdy hlavním úkolem je analyzovat dané pracoviště, objekt manipulace a vykonávaný úkol. Na základě těchto informací jsou specifikovány požadavky pracoviště, kritéria výběru vhodné varianty a koncepční řešení pro plnění daného úkolu.

### 2.3.1 Popis pracoviště

Toto pracoviště slouží k lisování odstředivé spojky na hřídel motoru. V pracovišti se nachází lisovací stanoviště, dopravní trať s technologickými paletkami a podavače materiálu.



Obrázek 24 Layout pracoviště B

Pracoviště obsluhuje operátor, jehož úkolem je kompletace dané sestavy, obsahující motor a spojku. Dále pak operátor plní úkol obsluhy lisovacího pracoviště a manipulace s drobnými kusovými díly. Díly jsou vloně ložené v přepravních boxech KLT.





Obrázek 25 Detail pracoviště B (1)

Pracovní cyklus se skládá z odebrání motoru z předem připravené paletky na dopravníkové trati a založení do lisovacího přípravku. Ze stejné paletky se odebírá i odstředivá spojka, která se rovněž zakládá do lisovacího přípravku, ale lisování spojky probíhá až v druhém kroku samotného procesu.



Obrázek 26 Detail pracoviště B (2)

Technické informace o pracovišti jsou znázorněny následující tabulkou hodnot parametrů jednotlivých komponent a periferií, vyskytujících na pracovišti.

Tabulka 19 Technické informace o pracovišti B

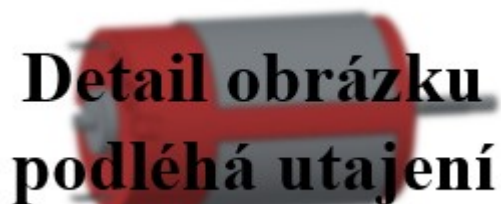
Informace o pracovišti			
Komponent	Parametr	hodnota	jednotka
Obecné	Prostředí	Vnitřní, výrobní hala	-
	Takt manipulačního cyklu	10	s
YuMi	hmotnost	38	kg
	nosnost	0,5	kg
	dosah	500	mm
	opakovatelnost	± 0,02	mm
	počet os	14	-
	rychlost KR	250	mm/s
	rychlost AR	1500	mm/s
	montáž	na stůl	-
	pracovní prostor	viz. Datasheet	-
Motor	rozměry	37,5 x 86,5	mm
	hmotnost	0,250	kg
	povrch	kov	-
	umístění	tech. paletka	-
Spojka	rozměry	34,8 x 15	mm
	hmotnost	0,015	kg
	povrch	plast	-
	umístění	tech. paletka	-
Sestava	rozměry	122	mm
	hmotnost	0,265	kg
	povrch	kov	-

### 2.3.2 Popis OM

Na pracovišti se nachází hned několik rozdílných objektů manipulace. U těchto objektů je nutné bezpečné uchopení a správná orientace při vkládání do lisovacího přípravku a vykládání celkové sestavy na mezi-stanoviště.

#### Motor

DC motor s hmotností 250 gramů s největším průměrem motoru 37,5 mm a délka motoru 86,5 mm. Díky umístění na paletce je vhodné motor uchopovat za vnější průměr. Čelisti efektoru by měly tvořit tvarové prizma pro udržení motoru po celou dobu manipulace v čelistech.



Obrázek 27 Obejkt manipulace-motor

#### Spojka

Sestava spojky o hmotnosti 15 gramů a největším průměrem 34,8 mm. Uchopení spojky je problematické díky pohyblivým „packám“ spojky a dané poloze v lisovacím přípravku.



Obrázek 28 Objekt manipulace-odstředivá spojka

Další objekt manipulace pak tvoří celková sestava motoru s nalisovanými díly. Tato sestava o hmotnosti 265 gramů je na hranici nosnosti jedné paže robotu YuMi včetně efektoru.

### 2.3.3 Popis zadaného úkolu

Pro tento úkol byl vybrán spolupracující robot YuMi od společnosti ABB. Úkolem bude manipulovat s jednotlivými objekty v daném taktu pracoviště. Manipulací robot zajistí založení jednotlivých objektů do lisovacích přípravků. Po zalisování vyjme celkovou sestavu motoru a umístí ji na mezi-stanoviště a opakuje úkol zakládání. Po založení robot přemístí celkovou sestavu na paletku, která odjede na další stanoviště. V rámci tohoto úkolu musí robot jednotlivé objekty orientovat podle jejich umístění v lisovacím přípravku.

### 2.3.4 Požadavkový list aplikace

Efektory pro montáž odstředivé spojky na motor musí splňovat obecné požadavky viz. Tabulka 9 a zároveň musí dodržovat konkrétní požadavky na konstrukci efektoru viz. Tabulka 20.

Tabulka 20 Požadavky efektoru na montáž odstředivé spojky

Požadavky efektoru			
Komponent	parametr	hodnota	jednotka
YuMi efektor	Nosnost	0,5	kg
	Hmotnost	0,215	kg
	Rozměry	136x83x69	mm
	Síla úchopu	20	N
	Zdvih	50	mm
	Přesnost	±0,05	mm
	Připojovací rozměry	8xM2/4xØ2H8	mm
Čelisti-motor	Hmotnost	max. 0,01	kg
	Počet komponent	max.2	pár
	Cena	350-400	kč
	Rozměry	Viz diagram	mm
Čelisti-spojka	Materiál	PLA/ABS/Hliník	-
	Kontaktní plochy	bez úprav	-
	Hmotnost	max. 0,01	kg
	Počet komponent	max.2	pár
	Cena	350-400	kč
	Rozměry	Viz diagram	mm
	Materiál	PLA/ABS/Hliník	-
	Kontaktní plochy	bez úprav	-

### 2.3.5 Koncepce řešení

Pro daná koncepční řešení byly vytvořeny kritéria pro jejich vzájemné posouzení. Tyto kritéria vychází z obecného požadavkového listu a z požadavkového listu dané aplikace.

Tabulka 21 Kritéria posouzení koncepcí montáže spojky

	Kritérium	Význam
K1	<b>Zajištění úchopu</b>	Vyvození dostatečné uchopovací síly navrženého zařízení
K2	<b>Pasivní prvky</b>	Pasivní prvky bezpečnosti (úprava kontaktních ploch, použití bezpečných materiálů, tvarově vhodné prvky úchopu)
K3	<b>Ergonomie</b>	Eliminace střížných hran, výčnělků a ostrých přechodů
K4	<b>Změny</b>	Nutnost úprav stávajících zařízení (úprava technologické paletky, úprava lisovacího přípravku)
K5	<b>Hmotnost</b>	Minimalizace hmotnosti navrženého zařízení
K6	<b>Rozměry</b>	Minimalizace vnějších rozměrů navrženého zařízení
K7	<b>Počet komponent</b>	Minimalizace počtů komponent navrženého zařízení
K8	<b>Cena</b>	Minimalizace výrobních nákladů navrženého zařízení

#### Varianta A

Tato varianta čelistí využívá uchopení motoru pomocí tvarového prizmatu. Motor se uchopuje přes největší průměr. Při tomto uchopení není možné založit motor do stávajícího lisovacího přípravku. Pro tento případ se musí vytvořit v lisovacím přípravku dostatek místa k založení motoru. Pro uchopení odstředivé spojky byly vytvořeny čelisti tak, aby byla spojka volně vložena do lisovacího přípravku, a zároveň nedošlo ke stlačení spojky tak aby nebyl narušen její výchozí tvar.



Obrázek 29 Koncepce efektoru\_ A-montáž spojky

Tabulka 22 Hodnocení koncepce\_ A-montáž spojky

K1	<b>Zajištění úchopu</b>	Vyvození dostatečné uchopovací síly navrženého zařízení
		Při vzdálenosti 50 mm OM od tělesa, dosáhne efektor 15 N síly úchopu
K2	<b>Pasivní prvky</b>	Použití bezpečných materiálu, tvarově vhodné prvky úchopu
		Prizmatické čelisti, plastový materiál čelistí
K3	<b>Ergonomie</b>	Eliminace střížných hran, výčnělků a ostrých přechodů
		Zaoblení ostrých přechodů, žádné výčnělky, bez střížných hran
K4	<b>Změny</b>	Nutnost úprav stávajících zařízení
		Je zapotřebí úprava lisovacího přípravku a technologie paletky
K5	<b>Hmotnost</b>	Minimalizace hmotnosti navrženého zařízení
		Celková hmotnost čelistí na jeden efektor = 26,5 g
K6	<b>Rozměry</b>	Minimalizace vnějších rozměrů navrženého zařízení
		Největší rozměry čelisti 60x35x16 mm
K7	<b>Počet komponent</b>	Minimalizace počtů komponent navrženého zařízení
		dva druhy čelistí pro každý OM, nelze zaměnit
K8	<b>Cena</b>	Minimalizace výrobních nákladů navrženého zařízení
		cena 3D tisku čelistí pro danou úlohu = 816 Kč

### Varianta B

Varianta čelistí pro uchopení motoru, spojky tak i celkové sestavy. Tato varianta využívá tvarových čelistí, které obepínají válcovou plochu OM a uchopují tak objekt přes největší průměr. Pro tento případ se musí upravit prvky technologické paletky a lisovací přípravky.



Obrázek 30 Koncepce efektoru\_ B-montáž spojky

Tabulka 23 Hodnocení koncepce\_ B-montáž spojky

K1	<b>Zajištění úchopu</b>	Vyvození dostatečné uchopovací síly navrženého zařízení
		Při vzdálenosti 35 mm OM od tělesa, dosáhne efektor 20 N síly úchopu
K2	<b>Pasivní prvky</b>	Použití bezpečných materiálů, tvarově vhodné prvky úchopu
		Obepnutí válcové plochy přes největší průměr OM, úprava kontaktních ploch
K3	<b>Ergonomie</b>	Eliminace střížných hran, výčnělků a ostrých přechodů
		zaoblení ostrých přechodů, žádné výčnělky, bez střížných hran
K4	<b>Změny</b>	Nutnost úprav stávajících zařízení
		Je zapotřebí úprava lisovacího přípravku a technologické paletky
K5	<b>Hmotnost</b>	Minimalizace hmotnosti navrženého zařízení
		Celková hmotnost čelistí na jeden efektor = 15 g
K6	<b>Rozměry</b>	Minimalizace vnějších rozměrů navrženého zařízení
		Největší rozměry čelisti 45x30x21 mm
K7	<b>Počet komponent</b>	Minimalizace počtů komponent navrženého zařízení
		Jeden druh čelistí, zaměnitelné pro oba OM
K8	<b>Cena</b>	Minimalizace výrobních nákladů navrženého zařízení
		cena 3D tisku čelistí pro danou úlohu = 680 Kč

### Varianta C

Varianta čelistí pro uchopení motoru, spojky tak i celkové sestavy. Varianta čelistí využívá uchopení motoru i spojky pomocí tvarového prizmatu. Motor i spojka se uchopuje přes největší průměr. Pro tento případ se musí upravit prvky technologické paletky a lisovací přípravky.



Obrázek 31 Koncepce efektoru\_ C-montáž spojky

Tabulka 24 Hodnocení koncepce\_ C-montáž spojky

K1	<b>Zajištění úchopu</b>	Vyvození dostatečné uchopovací síly navrženého zařízení
		Při vzdálenosti 35 mm OM od tělesa, dosáhne efektor 20N síly úchopu
K2	<b>Pasivní prvky</b>	Použití bezpečných materiálu, tvarově vhodné prvky úchopu
		Prizmatické čelisti, plastový materiál čelistí
K3	<b>Ergonomie</b>	Eliminace střížných hran, výčnělků a ostrých přechodů
		zaoblení ostrých přechodů, žádné výčnělky, bez střížných hran
K4	<b>Změny</b>	Nutnost úprav stávajících zařízení
		Je zapotřebí úprava lisovacího přípravku a technologické paletky
K5	<b>Hmotnost</b>	Minimalizace hmotnosti navrženého zařízení
		Celková hmotnost čelistí na jeden efektor = 20 g
K6	<b>Rozměry</b>	Minimalizace vnějších rozměrů navrženého zařízení
		Celkové rozměry čelisti 55x36,5x21 mm
K7	<b>Počet komponent</b>	Minimalizace počtů komponent navrženého zařízení
		Jeden druh čelistí, zaměnitelné pro oba OM,
K8	<b>Cena</b>	Minimalizace výrobních nákladů navrženého zařízení
		cena 3D tisku čelistí pro danou úlohu = 620 Kč

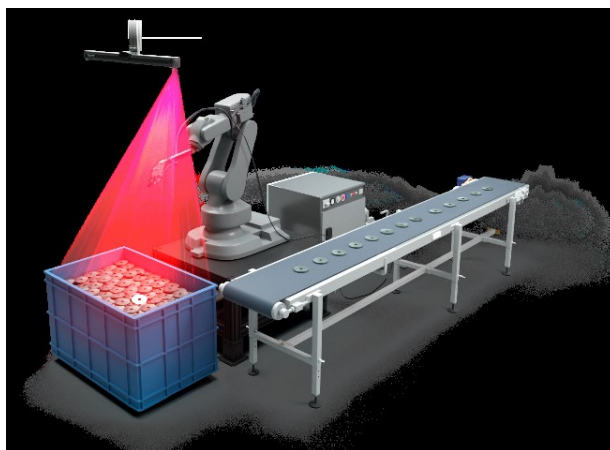


## 2.4 Manipulace a orientace elektronické jednotky

Tato kapitola popisuje pracoviště C. Hlavním úkolem je analyzovat dané pracoviště, objekt manipulace a vykonávaný úkol. Na základě těchto informací jsou specifikovány požadavky pracoviště, kritéria výběru vhodné varianty a koncepční řešení pro plnění daného úkolu.

### 2.4.1 Popis pracoviště

Cílem pracoviště je pomocí kamerového systému lokalizovat OM v přepravce a předat tuto informaci kontroléru robotu. Robotické rameno UR10 následně pomocí efektoru uchopí OM a umístí jej do předem stanovené orientované pozice. Tvarové díly mohou mít tendenci se o sebe zaklesnout.



Obrázek 32 Koncepční layout pracoviště bin pickingu

Po stanovení orientované polohy robot založí daný OM do paletky v zařízení EOL. Po založení OM operátor startuje proces sepnutím ovládacího kapacitního snímače. Účelem navrženého řešení je zbavit operátora rutinní opakující se práce.



Obrázek 33 Zařízení EOL

Technické informace o pracovišti jsou zaznamenány následující tabulkou hodnot parametrů jednotlivých komponentů a periferií, vyskytujících se v pracovišti.

Tabulka 25 Technické informace o pracovišti C

Informace o pracovišti			
Komponent	Parametr	hodnota	jednotka
Obecné	Prostředí	Vnitřní, výrobní hala	-
	Takt manipulačního cyklu	10	s
UR10	hmotnost	33,5	kg
	nosnost	10	kg
	dosah	1300	mm
	opakovatelnost	$\pm 0,1$	mm
	počet os	6	-
	rychlost KR	250	mm/s
	rychlost AR	1000	mm/s
	montáž	na stůl	-
	pracovní prostor	viz. Datasheet	-
Konf.1	rozměry	100 x 83,5 x 28	mm
	hmotnost	0,05	kg
	materiál	PP T40/TD20	-
Konf.2	rozměry	90 x 82,5 x 32	mm
	hmotnost	0,05	kg
	materiál	PP T40/TD20	-
Konf.3	rozměry	90 x 82,5 x 32	mm
	hmotnost	0,05	kg
	materiál	PP T40/TD20	-
Přepravka	vnější rozměr	600x400x180	mm
	vnitřní rozměr	552x352x156	mm
	hmotnost	2,3	kg
	počet kusů	250	ks

### 2.4.2 Popis OM

Jedná se o blíže nespecifikovaný kryt elektronické jednotky, respektive jeho dílčí části. Tyto části jsou ve třech odlišných konfiguracích. Každá konfigurace se nachází v samostatném přepravním boxu KLT a pro každou je jiná orientovaná poloha.

Při manipulaci s tímto objektem je nutno zajistit bezpečné uchopení a správnou orientaci tohoto objektu při odkládání. Vzhledem k tvaru a rozměru jednotlivých konfigurací je vhodné uchopovat všechny konfigurace jedním efektozem.

#### Konfigurace 1

Jedná se o spodní díl krytu elektroniky. Může obsahovat různý počet fixačních klipů a západek, které podléhají přísným kvalitativním požadavkům, proto při manipulaci nesmí dojít k poškození dílu.



Obrázek 34 Objekt manipulace-konfigurace 1

#### Konfigurace 2

Jedná se o horní krycí díl krytu elektroniky s výstupy pro konektory. Označení konfigurace je *High*. Při manipulaci s ní nesmí dojít k poškození dílu. Rozměry pouzdra se mohou v rámci tolerance lišit, a to vždy podle konkrétního typu výrobků.



Obrázek 35 Objekt manipulace-konfigurace 2-High

### Konfigurace 3

Jedná se o horní krycí díl krytu elektroniky s výstupy pro konektory. Označení konfigurace je *Low*. Při manipulaci s ní nesmí dojít k poškození dílu. Rozměry pouzdra se mohou v rámci tolerance lišit, podle konkrétního typu výrobků.



Obrázek 36 Objekt manipulace-konfigurace 3-Low

#### 2.4.3 Popis zadaného úkolu

Daná úloha je rozdělena na dvě části. V první části je nutné z KLT přepravky uchopit neorientovaný objekt manipulace. K rozpoznání objektu slouží 3D skener/kamera. Objekt manipulace je nutné vybírat z přepravky bez kolize. Díky tvarové složitosti a neuspořádanosti objektů v přepravce může dojít k zachycení jednoho objektu za druhý a tím dojít k převrácení dílu, kdy jej pak nebude možno vyjmout.



Obrázek 37 KLT přepravka a odložení OM

Druhou částí úkolu je orientace, kdy efektor nebo periferní zařízení musí být schopno daný objekt manipulace přeorientovat v požadovaném směru. Takto uchopený objekt je nutné odložit na paletku, která pokračuje na další pracoviště.

#### 2.4.4 Požadavkový list aplikace

Efektory pro manipulaci s elektro kryty musí splňovat obecné požadavky viz. Tabulka 9 a zároveň musí dodržovat konkrétní požadavky na konstrukci efektoru viz. Tabulka 26.

Tabulka 26 Požadavku efektoru na manipulaci elektronické jednotky

Požadavky efektoru			
Komponent	parametr	hodnota	jednotka
Efektor-elektro	Nosnost	min. 1,5	kg
	Hmotnost	max. 1,5	kg
	Počet komponent	max. 10	ks
	Rozměry	80x80x200	mm
	Cena	max. 10000	kč
	Připojení	EN ISO 9409-1	-
	Materiál čelistí	Hliník/PLA/ABS	-
	Kontaktní plochy	bez úprav	-
	Samosvornost	mechanická	-
Efektor-pneu	Nosnost	min. 1,5	kg
	Hmotnost	max. 1,5	kg
	Počet přísavek	3 až 4	ks
	Počet komponent	max. 10	ks
	Rozměry	80x80x200	mm
	Cena	max. 10000	kč
	Připojení	EN ISO 9409-1	-
	Materiál přísavek	PUR/BR/VMQ	-
	Samosvornost	pneumatická	-

### 2.4.5 Koncepční řešení

Pro navržená koncepční řešení byla specifikována kritéria pro jejich vzájemné posouzení. Tyto kritéria vychází z obecného požadavkového listu a z požadavkového listu dané aplikace.

Tabulka 27 Kritéria posouzení koncepcí pro manipulaci elektro krytů

	Kritérium	Význam
K1	Zajištění úchopu	Vyvození dostatečné uchopovací síly navrženého zařízení
K2	Pasivní prvky	Pasivní prvky bezpečnosti (úprava kontaktních ploch, použití bezpečných materiálů, tvarově vhodné prvky úchopu)
K3	Hmotnost	Minimalizace hmotnosti navrženého zařízení
K4	Rozměry	Minimalizace vnějších rozměrů navrženého zařízení
K5	Počet komponent	Minimalizace počtů komponent navrženého zařízení
K6	Cena	Minimalizace výrobních nákladů navrženého zařízení

#### Varianta A

Pneumatický efektor s polyuretanovými přísavkami. Jedná se o tři kruhové přísavky s nosností 4,7 N. Přísavky jsou uspořádány do trojúhelníku. Pneumatický obvod doplní efektor s elektricky spínanou funkcí vypnutí či zapnutí vakua, snímač podtlaku a při výpadku tlakové energie bude efektor připojen na záložní vzdušník.



**Detail obrázku  
podléhá utajení**

Obrázek 38 Koncepce efektoru\_ A-elektronická jednotka

Tabulka 28 Hodnocení konceptu\_ A-elektronická jednotka

K1	<b>Bezpečnost</b>	Vyvození dostatečné uchopovací síly navrženého zařízení
	3 přísavky s nosností 14,1 N	
K2	<b>Pasivní prvky</b>	Použití bezpečných materiálů, tvarově vhodné prvky úchopu
	Polyuretanové přísavky, akumulátor pro výpadek energie	
K3	<b>Hmotnost</b>	Minimalizace hmotnosti navrženého zařízení
	Celková hmotnost efektoru bez krytu = 1 kg	
K4	<b>Rozměry</b>	Minimalizace vnějších rozměrů navrženého zařízení
	Celkové rozměry efektoru = 55x55x200 mm	
K5	<b>Počet komponent</b>	Minimalizace počtů komponent navrženého zařízení
	3x přísavka, ejektor, 2x rozbočovače, 2x spodní deska, prodlužovací díl, těleso efektoru	
K6	<b>Cena</b>	Minimalizace výrobních nákladů navrženého zařízení
	Pneumatické díly Festo, vyráběné díly	

### Varianta B

Pneumatický efektor tvořený Item profilem pro snadné uchycení pneumatických prvků se třemi přísavkami  $\varnothing 10$  mm s nosností 4,7 N. Přísavky jsou uspořádány do trojúhelníku a uchyceny pomocí 3D tištěných dílů. Pneumatické komponenty budou díky hliníkovému profilu snadněji připojitelné. Celkový pneumatický obvod doplní snímač podtlaku a při výpadku tlakové energie bude efektor připojen k záložnímu vzdušníku.



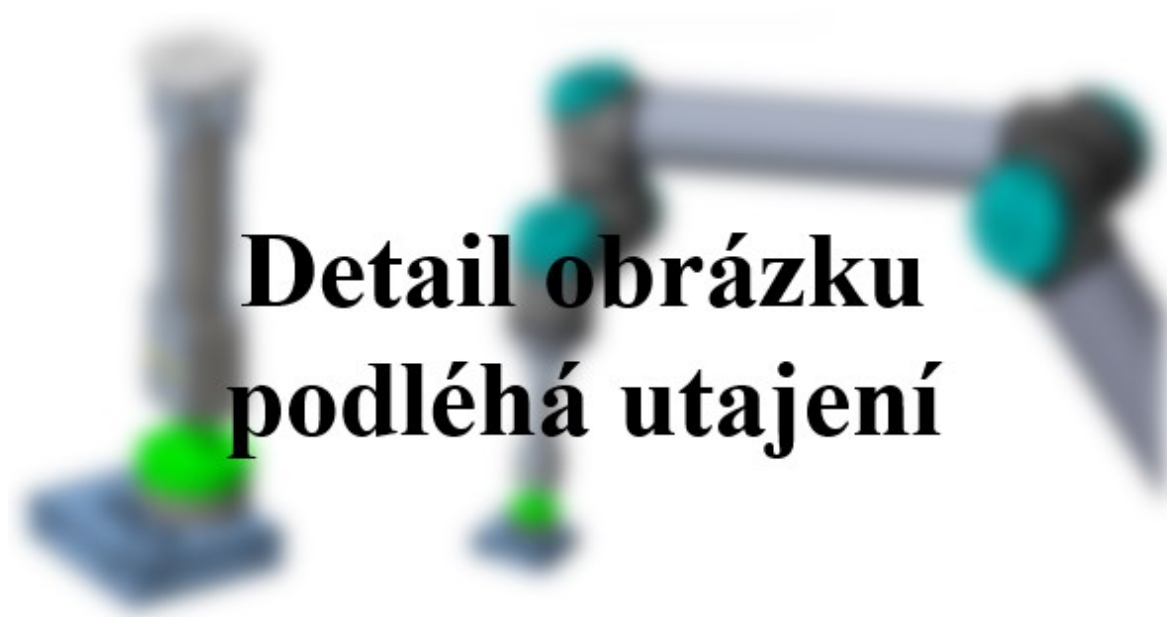
Obrázek 39 Koncepte efektoru\_ B-elektronická jednotka

Tabulka 29 Hodnocení koncepce\_ B-elektronická jednotka

K1	<b>Bezpečnost</b>	Vyvození dostatečné uchopovací síly navrženého zařízení
		3 přísavky s nosností 14,1 N
K2	<b>Pasivní prvky</b>	Použití bezpečných materiálu, tvarově vhodné prvky úchopu
		Polyuretanové přísavky, akumulátor pro výpadek energie
K4	<b>Hmotnost</b>	Minimalizace hmotnosti navrženého zařízení
		celková hmotnost = 0,85 kg
K5	<b>Rozměry</b>	Minimalizace vnějších rozměrů navrženého zařízení
		Celková rozměry = 70x42x200 mm
K6	<b>Počet komponent</b>	Minimalizace počtů komponent navrženého zařízení
		Item profil, 3x přísavka, ejektor, 2x rozbočovač, tištěné díly
K7	<b>Cena</b>	Minimalizace výrobních nákladů navrženého zařízení
		Nakupované díly Item, spojovací prvky, pneumatické prvky Festo

### Varianta C

Pneumatický efektor tvořený pěnovým vakuovým mechanismem. Efektor se skládá z MiniGrip sestavy GR 50 od společnosti Joulin [24], schopna vyvinout 17 N při 70% vakua. Efektor je doplněn o držák efektoru a připojovací interface a při výpadku tlakové energie bude efektor připojen k záložnímu vzdušníku.



Obrázek 40 Koncepce efektoru\_ C-elektronická jednotka



Tabulka 30 Hodnocení koncepce\_ C-elektronická jednotka

K1	<b>Bezpečnost</b>	Vyvození dostatečné uchopovací síly navrženého zařízení
		GR 50 s nosností 17 N
K2	<b>Pasivní prvky</b>	Použití bezpečných materiálů, tvarově vhodné prvky úchopu
		Pěnová technologie úchopu, akumulátor pro výpadek energie
K4	<b>Hmotnost</b>	Minimalizace hmotnosti navrženého zařízení
		Celková hmotnost = 1,5 kg
K5	<b>Rozměry</b>	Minimalizace vnějších rozměrů navrženého zařízení
		Celkové rozměry efektoru = 50x50x220 mm
K6	<b>Počet komponent</b>	Minimalizace počtů komponent navrženého zařízení
		Pěnová přísavka, pneumatické těleso, držák efektoru, spojovací díl, koncová příruba
K7	<b>Cena</b>	Minimalizace výrobních nákladů navrženého zařízení
		Vysoká cena sestavy MiniGrip, relativně levný držák

### 3 Zhodnocení koncepcí

Kapitola se zabývá posouzením jednotlivých koncepcí dle kritérií. Jednotlivá kritéria jsou bodována dle následující tabulky. Koncepce s nejvyšším součtem známek je pro danou aplikaci nejvhodnější.

Tabulka 31 Bodování kritérií

známka	Význam
3	Zařízení splňuje dané kritérium o více než 30 % dle požadavkového listu
2	Zařízení splňuje dané kritérium o více než 20 % dle požadavkového listu
1	Zařízení splňuje dané kritérium o více než 10 % dle požadavkového listu
0	Zařízení splňuje dané kritérium dle požadavkového listu
-1	Zařízení nesplňuje dané kritérium o více než 10 % dle požadavkového listu
-2	Zařízení nesplňuje dané kritérium o více než 20 % dle požadavkového listu
-3	Zařízení nesplňuje dané kritérium o více než 30 % dle požadavkového listu

Pro přehlednost je v kapitole uveden příklad výpočtu pro určení hodnoty známky nosnosti efektoru pro manipulaci a orientaci elektronické jednotky.

Tabulka 32 Příklad výpočtu (1)

Varianty	A	B	C
K1	14,1 N	14,1 N	17 N

Pro kritérium K1 je určena hodnota z požadavkového listu 1,5 kg, což je přibližně 15 N. Tato hodnota nosnosti efektoru odpovídá známce 0. Pokud navržené zařízení disponuje nosností větší než je specifikovaná hodnota, jeho známka bude vyšší a to v závislosti o kolik procent specifikovanou hodnotu překračuje. Analogicky pokud zařízení disponuje hodnotou nosnosti menší, tak obdrží nižší známku.

Tabulka 33 Příklad výpočtu (2)

Specifikovaná hodnota 15 N		Nosnost +	Nosnost -
1 %	0,15 N	-	-
10 %	1,5 N	16,5 N	13,5 N
20 %	3 N	18 N	12 N
30 %	4,5 N	19,5 N	10,5 N

Na základě tohoto výpočtu obdrží jednotlivé varianty známky, pokud pozitivně nebo negativně překračují specifikovanou hodnotu.

Tabulka 34 Příklad výpočtu (3)

Varianty	A	B	C
K1	0	0	1

### 3.1 Zakládání světlometů

Pro úkol zakládání světlometů se pro zadavatele nejeví žádná varianta jako vhodná. Po technické stránce a při daných podmínkách zadavatele, nelze u jednotlivých koncepcí zaručit spolehlivost navrženého řešení, bezpečné uchopení OM a jeho nepoškození. Z ekonomického pohledu jednotlivé koncepce představuje neefektivní řešení z hlediska cenově drahé výroby, provozu a údržby. Z těchto důvodů nebyl proveden výběr navržených koncepcí a pro manipulaci se světlometem a přepravním boxem tak není vybrána vhodná varianta. Pro pracoviště A bylo zastaveno další rozpracování efektorů, následná realizace a testování. Jednotlivé koncepční návrhy pak slouží jako možná řešení jak manipulovat s tvarově složitým OM jako je světlomet.

### 3.2 Montáž odstředivé spojky

Pro úkol montáže odstředivé spojky, je zde uveden popis vybraných parametrů k jednotlivým kritériím pro jejich posouzení.

Tabulka 35 Vybrané parametry koncepcí pracoviště B

	A	B	C
K1	15 N	20 N	20 N
K2	2ks	2ks	2ks
K3	ano	ano	ano
K4	ano	ano	ano
K5	26,5 g	15 g	20 g
K6	60x35x16 mm	45x30x21 mm	55x36,5x21 mm
K7	2x pár	1x pár	1x pár
K8	816 Kč	680 Kč	620 Kč

Pro manipulaci s danými OM a následnou montáží odstředivé spojky na hřídel motoru se jeví jako nejlepší řešení varianta C. Avšak s variantou B se prokazatelně neliší. V dalším řešení proto bude využito obou variant a finální řešení bude vybráno na základě reálného testu.

Tabulka 36 Výsledné hodnocení pracoviště B

	A	B	C
K1	-2	0	0
K2	0	0	0
K3	1	1	1
K4	-1	-1	-1
K5	-3	2	0
K6	0	1	0
K7	0	2	3
K8	-1	0	1
Celkem	-6	5	4

### 3.3 Manipulace a orientace elektronické jednotky

Pro úkol manipulace a orientace elektronické jednotky je zde uveden popis vybraných parametrů k jednotlivým kritériím pro jejich posouzení.

Tabulka 37 Vybrané parametry koncepcí pracoviště C

	A	B	C
K1	14,1 N	14,1 N	17 N
K2	2 ks	2 ks	2 ks
K3	1,2 kg	0,85 kg	1,5 kg
K4	55x55x200 mm	70x42x200 mm	50x50x200 mm
K5	11 ks	9 ks	5 ks
K6	9720 Kč	8500 Kč	? USD

Pro daný úkol manipulace a orientace elektronické jednotky nejlépe vyhovuje varianta B. Tato varianta bude dále detailně zpracována, realizována a testována na robotickém rameni UR10.

Tabulka 38 Výsledné hodnocení pracoviště C

	A	B	C
K1	0	0	1
K2	0	0	0
K3	2	3	0
K4	3	3	3
K5	-1	1	3
K6	0	2	-3
Celkem	4	9	4

## 4 Řešení dílčích úkolů

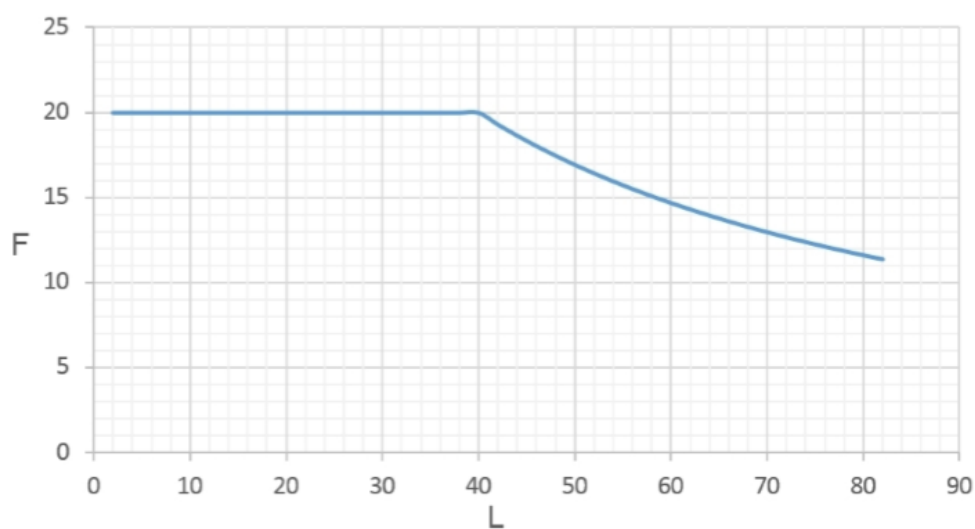
Kapitola obsahuje rozpracované varianty v podobě podrobných 3D modelů jednotlivých efektorů pro dané pracoviště. Kapitola je doplněna o kontrolní výpočty kritických uzlů efektorů.

### 4.1 Montáž odstředivé spojky

Kapitola popisuje detailní zpracování vybraného řešení pro úkol montáže odstředivé spojky. Jsou zde uvedeny kontrolní výpočty kritických uzlů efektoru, realizace, testování a následné úpravy vybraného řešení.

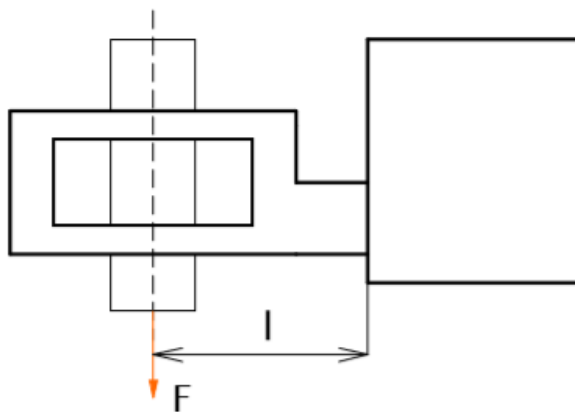
#### 4.1.1 Kontrolní výpočty

Diagram zatížení zobrazuje závislost uchopovací síly na délce čelisti, kdy síla 20 N je maximálně vyvozena při délce 40 mm. Při návrhu je potřeba tento diagram zohlednit a přizpůsobit tak rozměry čelisti.



Obrázek 41 YuMi diagram zatížení efektoru [16]

Je zde kontrolní výpočet uchopovací síly v horizontálním, vertikálním směru pohybu a výpočet síly při rotaci. Pro výpočet je uvažováno uchopení OM nejhorším způsobem, viz. Obrázek 42.



Obrázek 42 Uvažované uchopení OM

Aby byla splněna podmínka bezpečnosti, je do výpočtu použit koeficient bezpečnosti. Tento koeficient je dán vzorcem  $k = k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5 * k_6$ . Jednotlivé koeficienty odečteme z viz. Tabulka 39

Tabulka 39 Určení koeficientu bezpečnosti [27]

koeficient	Význam	Hodnoty	Zvolená hodnota
k1	Hmotnostní koeficient	1,2	1,2
k2	Způsob omezení objektu-dvoustranné	1,3-1,7	1,6
k3	Stav povrchu objektů	1,2-1,4	1,3
k4	Napájení elektřinou	1,2-1,3	1,2
k5	Dynamické charakteristiky robotu	1,2-2	1,3
k6	Provozní podmínky – běžné	1	1
k	Výsledný koeficient		4

V následující tabulce jsou uvedeny parametry vstupující do výpočtu uchopovacích sil v jednotlivých směrech.

Tabulka 40 Hodnoty vstupující do výpočtu čelistí

Značení	Hodnota	Jednotka	Význam
m	0,05	kg	hmotnost OM
g	9,81	m/s <sup>2</sup>	gravitační zrychlení
v	1,5	m/s	rychlost TCP
s	0,56	m	dosah
R	0,56	m	poloměr
k	4	-	bezpečnostní koeficient
f	0,45	-	koeficient tření

Pro výpočet je nutné odvodit rychlosti a zrychlení pro dosažení do výsledných vztahů pro horizontální, vertikální sílu a rotaci.

$$v = a * t \Rightarrow t = \frac{v}{a}$$

$$s = \frac{1}{2} * a * \left(\frac{v}{a}\right)^2 = \frac{1}{2} * \frac{v^2}{a} \Rightarrow a = \frac{1}{2} * \frac{v^2}{s}$$

$$s = \frac{1}{2} * a * t^2$$

$$a = \frac{1}{2} * \frac{1,5^2}{0,56} = 2 \text{ m} * \text{s}^{-2}$$

$$\omega = \varepsilon * t \Rightarrow t = \frac{\omega}{\varepsilon}$$

$$\varphi = \frac{1}{2} * \varepsilon * \left(\frac{\omega}{\varepsilon}\right)^2 = \frac{1}{2} * \frac{\omega^2}{\varepsilon} \Rightarrow \varepsilon = \frac{1}{2} * \frac{\omega^2}{\varphi}$$

$$\varphi = \frac{1}{2} * \varepsilon * t^2$$

$$\varepsilon = \frac{1}{2} * \frac{2,68^2}{\pi} = 1,15 \text{ rad} * \text{s}^{-2}$$

$$\omega = v/R$$

### Horizontální

$$U_{v\ddot{y}p} = k * \frac{m * g}{g} * \left(1 + \frac{a}{g}\right) = 4 * \frac{0,265 * 9,81}{9,81} * \left(1 + \frac{2}{9,81}\right) \quad (1)$$

$$U_{v\ddot{y}p} = 27,12 \text{ N}$$

### Vertikální

$$U_{v\ddot{y}p} = m * g * \left(\frac{k}{f} + \frac{a}{g} * \tan \alpha\right) = 0,265 * 9,81 * \left(\frac{4}{0,45} + \frac{2}{9,81} * \tan 45^\circ\right) \quad (2)$$

$$U_{v\ddot{y}p} = 23,39 \text{ N}$$

### Rotace

$$\frac{F}{f} = \frac{m * g}{f} = \frac{0,265 * 9,81}{0,45} = 5,77 \text{ N} \quad (3)$$

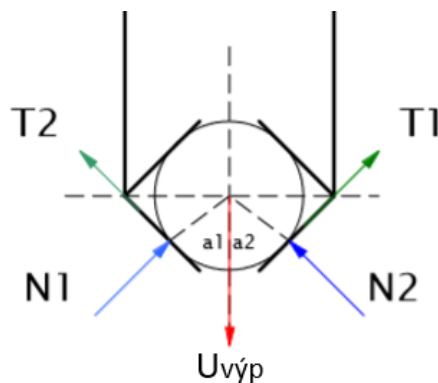
$$F_O = m * \omega^2 * R = 0,265 * 2,68^2 * 0,56 = 2,61 \text{ N} \quad (4)$$

$$F_S = m * \varepsilon * R = 0,265 * 1,15 * 0,56 = 0,17 \text{ N} \quad (5)$$

$$U_{v\ddot{y}p} = k * \left(\frac{F}{f} + F_O * \tan \alpha + F_S\right) = 4 * (5,77 + 2,61 * \tan 45^\circ + 0,17) \quad (6)$$

$$U_{v\ddot{y}p} = 34,25 \text{ N}$$

Rozložení jednotlivých složek sil působících na OM. Složky normálových sil  $N_x$  a  $N_y$  bude využito pro definování zatížení čelistí v pevnostní analýze.



Obrázek 43 Rozložení sil

$$N_1 = N_2 = \frac{U_{výp}}{2 * \cos \alpha} = \frac{34,25}{2 * \cos 45^\circ} = 24,22 \text{ N} \quad (7)$$

$$N_x = N * \sin \alpha = 24,22 * \sin 45^\circ = 17,12 \text{ N} \quad (8)$$

$$N_y = N * \cos \alpha = 24,22 * \cos 45^\circ = 17,12 \text{ N} \quad (9)$$

$$T_1 = T_2 = f * N = 0,61 * 4,26 = 2,596 \text{ N} \quad (10)$$

Varianta B i C při rozměrech 35 mm od středu OM po připojovací části čelistí, dosáhne efektor 20N síly úchopu. Varianta C uchopuje OM díky tvarovému prizmatu. Varianta B uchopuje motor i spojku přes největší průměr obepnutím díky tvarové čelisti.



Obrázek 44 Ukázka čelistí

Celková sestava OM je na hranici nosnost jedné paže robota YuMi, proto hmotnost jedné čelisti nesmí přesáhnout hmotnost 10 g. Při použití plastových materiálů a 3D tisku je možno dosáhnout odpovídajících tvarů i hmotností.



#### 4.1.2 Realizace a testování

Obě čelisti jsou pro danou aplikaci použity jako testovací. Byla testována se zkouška úchopu a držení OM při manipulaci.

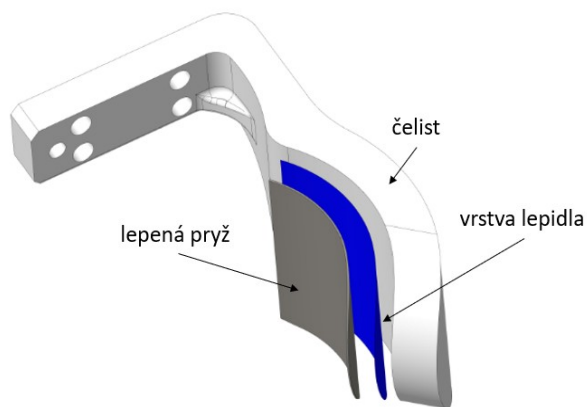


Obrázek 45 Ukázka zhotovených čelistí 3D tiskem

Při testování bylo zjištěno, že materiál plastových čelistí při specifikovaném zatížení nezaručuje bezpečné držení OM po celou dobu manipulace. Velikost průhybu navržených čelistí je natolik velká, že při prudkém zastavení dojde k upuštění OM. Nevýhodou je kombinace materiálů plastových čelistí a kovového těla OM z důvodu nízkého koeficientu tření a tím snižující se uchopovací síly. Čelist C s tvarovým prizmatem se ukázala jako nevhodná. Z důvodu malé kontaktní plochy a bodovému styku s objektem. Dalším aspektem je případná vyrobitelnost z kovového materiálu, kdy čelist C je na výrobu velmi složitá a nákladná. Čelist B díky kontaktní ploše, která obepíná OM přes největší průměr, disponuje vícebodovým stykem a v kombinaci s technologií, která zajistí dostatečný koeficient tření představuje tato čelist optimální řešení úkolu. Díky jednoduchému tvaru je vyrobitelnost těchto čelistí snadnější a méně nákladná oproti variantě C.

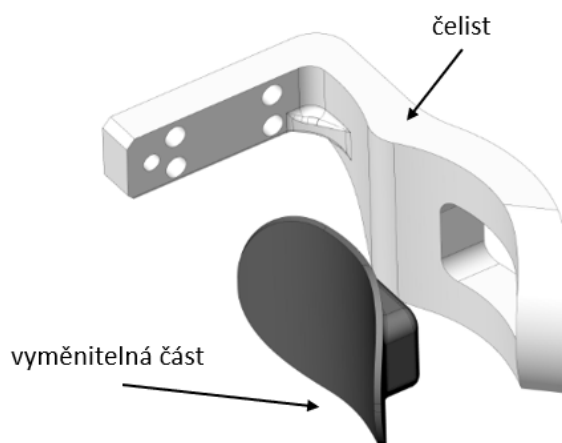
#### 4.1.3 Úpravy řešení

Pro zvýšení koeficientů tření povrchu čelisti efektoru lze využít technologii lepení tenkých pryžových vrstev. Na kontaktní povrch čelistí je nanесena lepicí složka a na tu pak část pryže. Je možno využít i samolepicích pryžových materiálů, kdy lepicí vrstva je nanесena pouze v omezeném množství. [28]



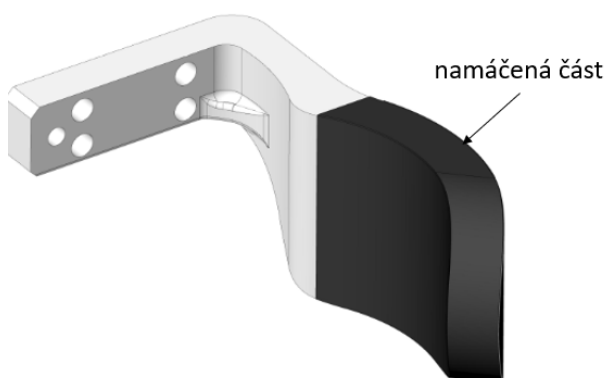
Obrázek 46 Čelist s lepenou vrstvou pryže

Dalším způsobem zvýšení koeficientů tření je použití vyměnitelných pryžových částí zasazených pomocí tvarového styku v čelisti. Výhodou je vyměnitelnost těchto pryžových částí při opotřebení.



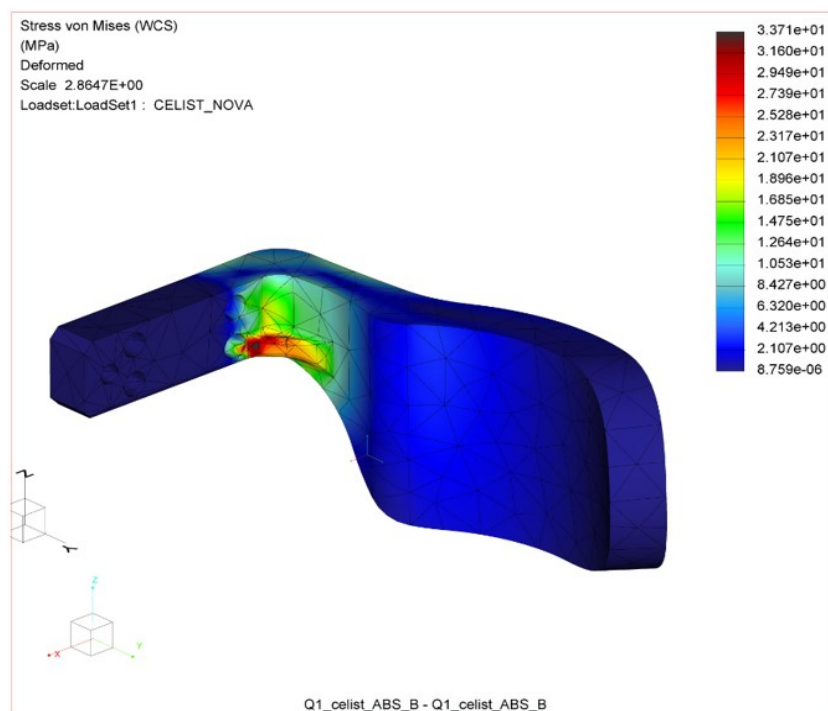
Obrázek 47 Čelist s vloženou částí pryže

Následující způsob zvýšení třecího koeficientu spočívá ve využití technologie namáčení v PVC lázni. Jedná se o ochranný nános materiálu vhodný pro tvarově složité prvky s chemickou a mechanickou odolností. Nejvíce využívaný pro strojní součásti. [29]



Obrázek 48 Čelist namáčená v PVC lázni

Z poznatků zjištěných při testování čelistí je patrné že plastový materiál čelistí není vhodný. Při vyšších rychlostech a prudkém zastavení dochází k upuštění OM vlivem průhybu čelistí a vysokému napětí na použitý materiál.



Obrázek 49 Zatížení plastové čelisti

Z tohoto důvodu musí být vybrán materiál s nízkou měrnou hmotností, vysokou pevností a odolností. Použitelné materiály jsou zobrazeny viz. Tabulka 41.

Tabulka 41 Použitelné materiály čelisti YuMi

<b>Hliník 7075</b>	<b>Titan</b>
$P = 2,8 \text{ g/cm}^3$	$P = 4,5 \text{ g/cm}^3$
$Y = 75 \text{ GPa}$	$Y = 105 \text{ GPa}$
$\mu = 0,31$	$\mu = 0,35$
<b>Hliník 8090</b>	<b>Slitina hořčíku</b>
$P = 2,47\text{-}2,6 \text{ g/cm}^3$	$P = 1,7\text{-}1,9 \text{ g/cm}^3$
$Y = 78 \text{ GPa}$	$Y = 45 \text{ GPa}$
$\mu = 0,31$	$\mu = 0,35$

Při změně materiálu a zachování stejné hmotnosti byly vytvořeny čelisti ze slitiny hliníku s označením 8090. Tato slitina nabízí nejlepší parametry hmotnosti a nosnosti. Pro výrobitelnost je nutná úprava tvaru čelistí, kdy bylo odstraněno podpurné žebro a díky zvětšenému prostoru bylo upraveno zaoblení. Pro snížení dosavadní hmotnosti čelisti je možno využít zaoblenou kontaktní plochu pro vytvoření odlehčení.

#### 4.1.4 Pevnostní kontrola

Pro pevnostní kontrolu čelistí byl využit 3D model s definovaným materiálem hliníkové slitiny 8090. Jedná se o slitinu hliníku s příměsí lithia, využívanou v leteckém a kosmickém průmyslu. [32]

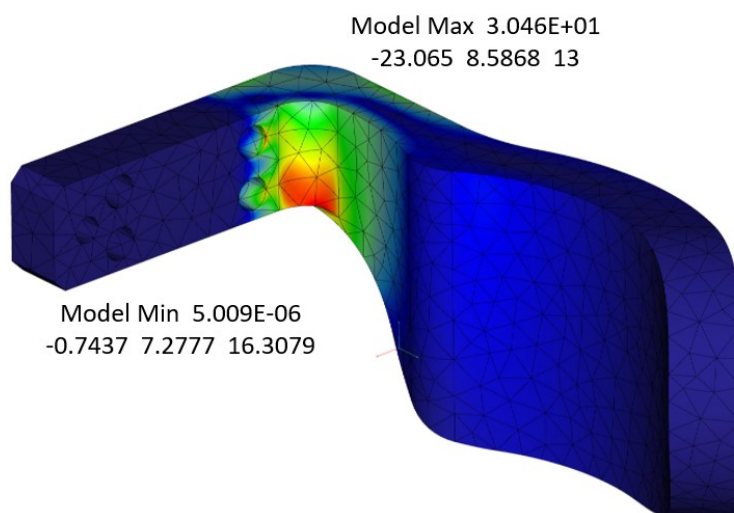
Parametry materiálu: Mez kluzu = 370 MPa

Pevnost v tahu = 450 MPa

Pevnost ve smyku = 270 MPa

Tvrдость = 120 HB

Při tvorbě simulačního modelu bylo využito kotvicích otvoru 4xØ2.4 pro uchycení (constrains) čelisti a zatížení bylo definováno dle výpočtu viz. Obrázek 43. Konečno prvková síť modelu byla tvořena tetragonálními elementy o velikosti 2,5 mm.



Obrázek 50 Napětí čelisti

Maximální napětí v čelisti se nachází v místě zaoblení a dosahuje hodnoty 30,46 MPa. Při tomto napětí nedochází k deformaci čelisti. Maximální průhyb se nachází na konci kontaktní části čelisti a dosahuje hodnoty 0,058 mm. Celková hmotnost čelistí činí 10 g.

Pevnostní kontrola byla provedena i v místě šroubového spoje čelistí s efektem Yumi. Detailní parametry a výsledky pevnostní kontroly jsou zobrazeny v Příloha B a Příloha C.

## 4.2 Manipulace a orientace elektronické jednotky

Kapitola popisuje detailní zpracování vybraného řešení pro úkol manipulace a orientace elektronické jednotky. Jsou zde uvedeny kontrolní výpočty kritických uzlů efektoru, realizace, testování a následné úpravy vybraného řešení

### 4.2.1 Kontrolní výpočty

Při návrhu pneumatického efektoru se musí ověřit přídržná síla přísavek, které drží OM a vhodně zvolit velikost přísavek a jejich počet. Velikost přísavek se určí z výpočtu úchopné síly při pohybu stroje v třech základních případech.

Tabulka 42 Vstupující hodnoty výpočtu přísavek

Značení	Hodnota	Jednotka	Význam
m	0,05	kg	hmotnost OM
g	9,81	m/s <sup>2</sup>	gravitační zrychlení
a	1	m/s <sup>2</sup>	zrychlení TCP
k	2	-	bezpečnostní koeficient
f	0,5	-	koeficient tření

- 1) Přisavka ve vodorovné poloze – pohyb ve svislém směru

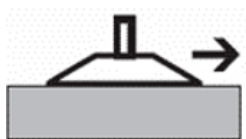


$$F_H = m * (g + a) * k \quad (9)$$

$$F_H = 0,05 * (9,81 + 1) * 2 \quad (10)$$

$$F_H = 1,081 \text{ N}$$

- 2) Přisavka ve vodorovné poloze – pohyb ve vodorovném směru



$$F_H = m * \left(g + \frac{a}{f}\right) * k \quad (11)$$

$$F_H = 0,05 * \left(9,81 * \frac{1}{0,5}\right) * 2 \quad (12)$$

$$F_H = 0,6905 \text{ N}$$

- 3) Přisavka ve svislé poloze – pohyb ve svislém směru

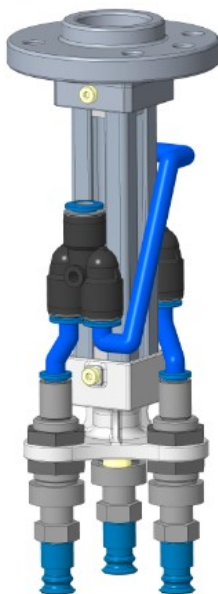


$$F_H = \left(\frac{m}{f}\right) * (g + a) * k \quad (13)$$

$$F_H = \left(\frac{0,05}{0,5}\right) * (9,81 + 1) * 2 \quad (14)$$

$$F_H = 2,165 \text{ N}$$

Z vypočtených hodnot je možno určit velikost a tvar přísavky. Byly zvoleny přísavky ESG s průměrem 10 mm, kruhové, skladné 1,5x od společnosti Festo. K těmto přísavkám bylo zvoleno šroubení s připojením vakua shora pomocí nástrčku, upevnění pomocí kontra matice s výškovým vyrovnáváním 6 mm. Přísavka dokáže vyvinout přídržnou sílu 4,7 N. Při zadané hodnotě nosnosti daného efektoru využijeme 3 přísavky pro splnění podmínky síly a pro zajištění správné orientace.



Obrázek 51 Návrh přísavkového efektoru

Pro zvolené přísavky ESG a jejich šroubení, musí být navržen ejektor pro danou spotřebu vzduchu a zaručit tak nepřetržité uchopení OM.

Tabulka 43 Výpočet velikosti ejektoru

Spotřeba vzduchu	hodnota	jednotka	přepočet	jednotka
objem přísavky	0,38	cm <sup>3</sup>	0,00038	dm <sup>3</sup> (l)
objem šroubení	1,041	cm <sup>3</sup>	0,01041	dm <sup>3</sup> (l)

objem 1 přísavky	0,01079	dm <sup>3</sup> (l)
objem 4 přísavek	0,04316	dm <sup>3</sup> (l)

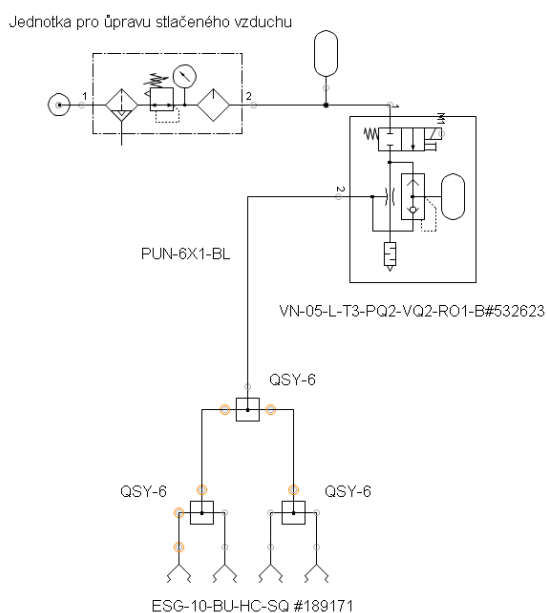
Objem za s	0,04316	l/s
Objem za min	2,5896	l/min

Pro vypočtenou spotřebu vzduchu byl navržen elektro pneumatický ejektor od společnosti Festo s vyfukovacím impulsem a integrovaným elektromagnetickým ventilem. Ejektor je doplněn o tlumič hluku a potřebné příslušenství. Nasávaný objemový průtok ejektoru je 13,6 l/min.

## 4.2.2 Realizace, testování a úpravy řešení

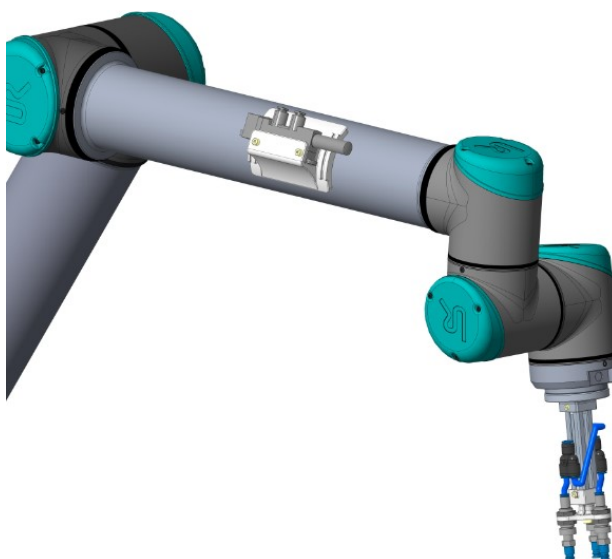
### Verze č.1 - realizace

Celkový pneumatický obvod byl doplněn o rozbočovače s kompatibilním připojením vakua jako předcházející pneumatické prvky. Navržený obvod je znázorněn na schématu viz. Obrázek 52.



Obrázek 52 Pneumatický obvod efektoru

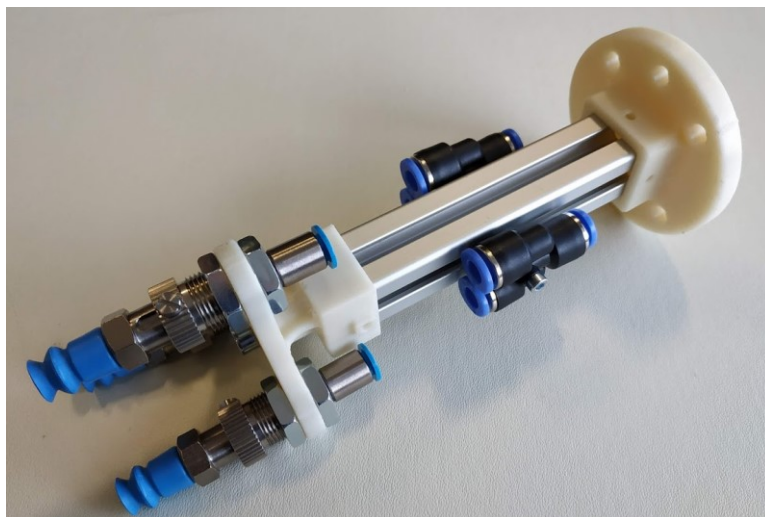
Zvoleny ejektor musí být přemístěn, jelikož by svými rozměry přesahoval koncové zařízení. Není možné jej umístit na středový hliníkový profil. Ejektor bude umístěn na horní rameno robota, kde bude upevněn pomocí navrženého držáku. Samotný ejektor pak bude pomocí pneumatické hadice spojen s efektem.



Obrázek 53 Sestava efektoru na rameni UR10



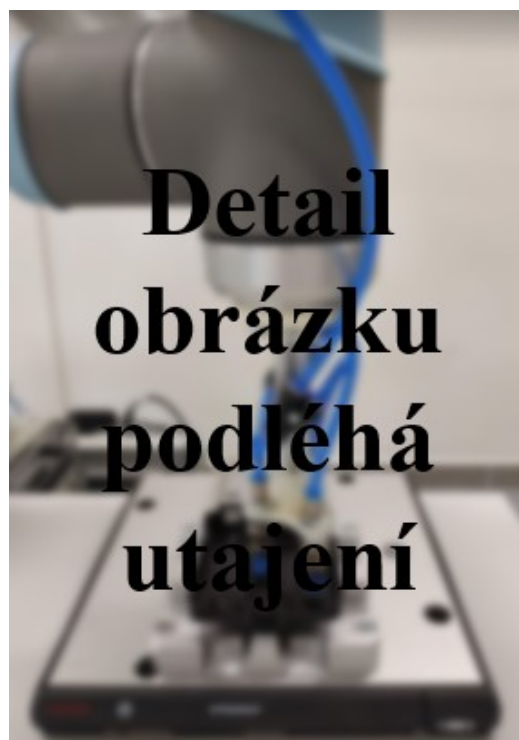
Za pomoci 3D tisku byly vytvořeny komponenty pro testovací model efektoru, který byl sestaven, zapojen a použit na zařízení UR 10 pro otestování úchopu OM ve všech třech konfiguracích.



Obrázek 54 Realizace efektoru

#### Verze č.1 – testování

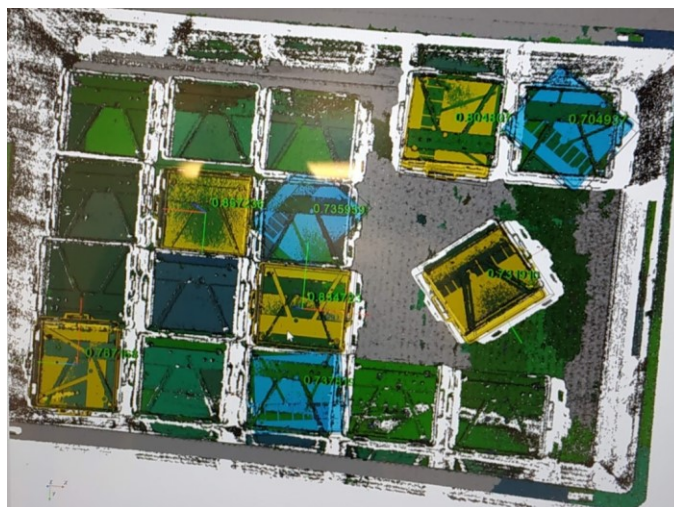
Při testu byla zkoumána uchopovací síla, manipulace s objektem a správná orientace objektu na technologickou paletu pracoviště.



Obrázek 55 Testování efektoru



Při testování bylo zjištěno, že navržená uchopovací síla a rozmístění přísavek je dostatečné pro plnění úkolu. Problém představují OM u krajů přepravního boxu KLT, kdy svírají se stěnou přepravky a uchopovací plochy úhel menší než  $90^\circ$ .

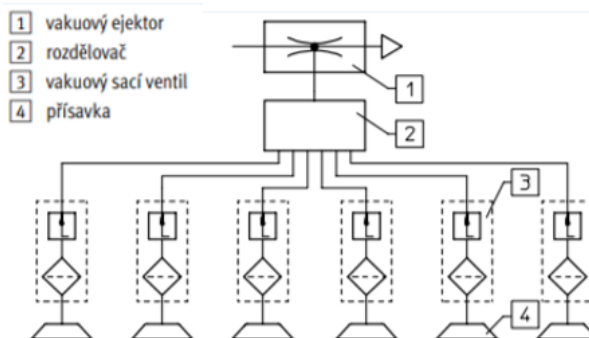


Obrázek 56 Skenování OM

Další komplikace je občasná nepřesnost skenování OM. Kamerový systém vyhodnotí pozici OM, ale dalším skenem nepřesně určí její orientaci. Skenování vykazuje až 75 % shodu, avšak orientace OM je naprosto odlišná, v některých případech až o  $180^\circ$ . I toto způsobuje, že OM není uchycen a zůstává v přepravním boxu KLT.

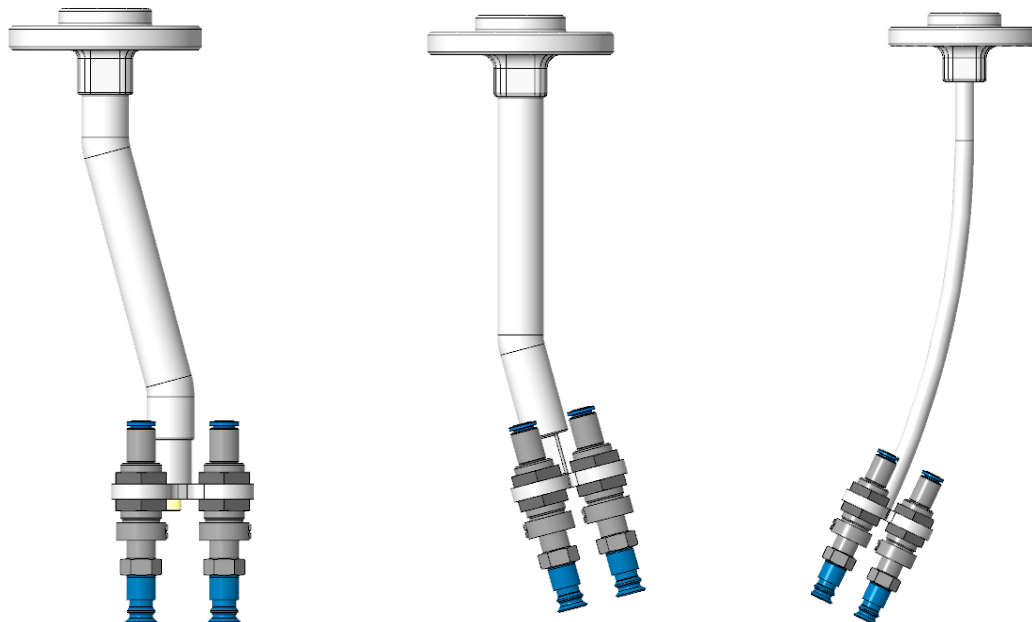
### Verze č.1 – úpravy

Při testování efektoru byly vypořádovány následující úpravy. Úprava tvaru a rozměrů efektoru pro snadnější vybírání OM z přepravního boxu KLT a doplnění pneumatického vybavení o vakuové sací ventily. Tyto ventily slouží k zamezení ztráty vakua při špatném kontaktu některé z přísavek. Ventily ISV se zařazují mezi vakuový ejektor a přísavku. Pokud přísavka není v kontaktu nebo jen částečně, ventil ISV automaticky uzavře přívod podtlaku. [30]



Obrázek 57 Vakuové sací ventily

Pro odstranění problému s OM u okraje přepravního boxu KLT byl zvolen obloukový tvar efektoru místo přímého řešení. Pro zvolený tvar byla provedena analýza CAD modelu, kdy byl efektor umísťován do krajních pozic s OM v přepravním boxu.

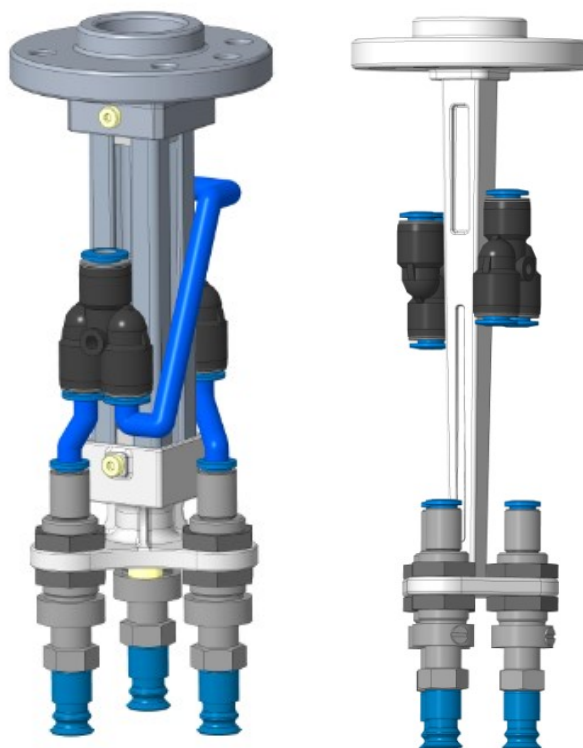


Obrázek 58 Uvažovaná úprava efektoru

Výrobně složitý obloukový tvar efektoru nepředstavuje vhodné řešení problému s OM u krajů přepravního boxu KLT. Při analýze CAD modelu bylo zjištěno, že limitním prvkem pro odebrání OM u kraje přepravního boxu KLT je výška přísavky se šroubením.

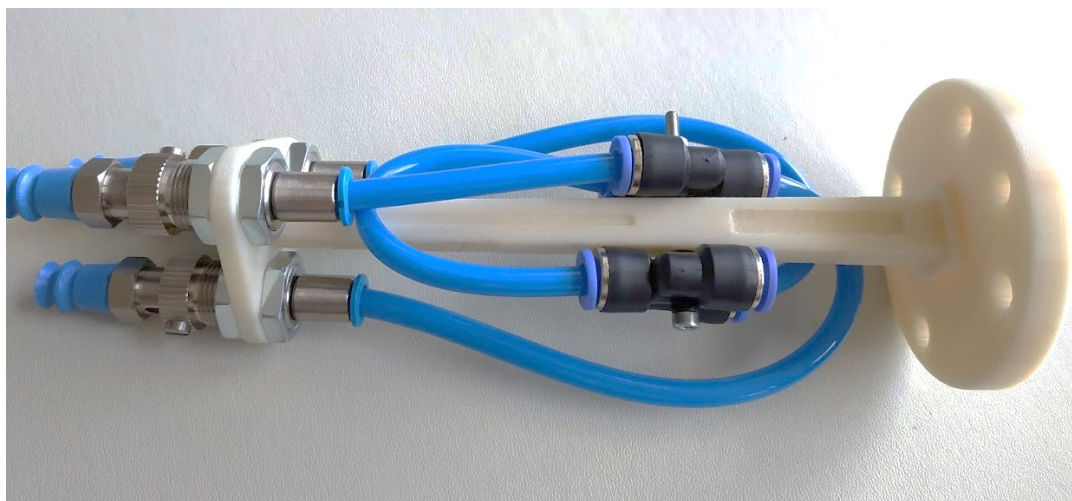
### **Verze č.2 – realizace**

Z důvodu složité výroby obloukového tvaru efektoru a složitého připojení pneumatických komponentů, byl zachován přímý tvar efektoru. Došlo k zúžení středové části a k minimalizaci jeho rozměrů. Váha tohoto efektoru byla snížena na 180g díky plastovým materiálům a technologii výroby pomocí 3D tisku.



Obrázek 59 Verze efektoru

Jednotlivé nosné části efektoru jsou vytvořeny pomocí 3D tisku a spojení je realizováno lepením. Tento testovací efektor byl sestaven, zapojen a použit na zařízení UR 10 pro otestování úchopu OM.



Obrázek 60 Realizace efektoru (2)

**Verze č.2 – testování**

Při testu byla zkoumána manipulace s objektem a správná orientace objektu na technologickou paletu pracoviště. Dále pak stabilita uchopeného OM a dostatečná uchopovací síla. Při testu bylo zkoumáno, zda užší rozložení přísavek odstraňuje problém se ztrátou vakua při nedoléhání některé z přísavek. Toto zúžení rozměru rozložení přísavek neodstraňuje problém se ztrátou vakua. Efektor je schopen odebrat OM, který svírá se stěnou přepravky úhel menší než  $90^\circ$ , avšak ne se 100 % spolehlivostí.



Obrázek 61 Testování efektoru (2)

Minimalizace rozměrů efektoru napomáhá k lepší manipulaci a orientaci objektu při vybírání z KLT boxu i při vkládání do technologické palety. Tato minimalizace má však za následek nižší tuhost samotného efektoru. Při rychlostech mimo kolaborativní režim dochází ke kmitání efektoru.

---

**Verze č.2 – úpravy**

Další možnou úpravou efektoru pro odstranění ztráty vakua je redukce počtu přísavek. V tomto případě byla zvolena jedna přísavka o průměru 20 mm. Při redukci přísavek dochází i ke zmenšení obrysových rozměrů. To vede ke zlepšení manipulace a orientace efektoru. Při redukci přísavek odpadá nutnost rozbočovačů. Vedení pneumatické hadice je realizováno skrze dutou střední část efektoru.



Obrázek 62 Efektor s jednou přísavkou

### 4.2.3 Pevnostní kontrola

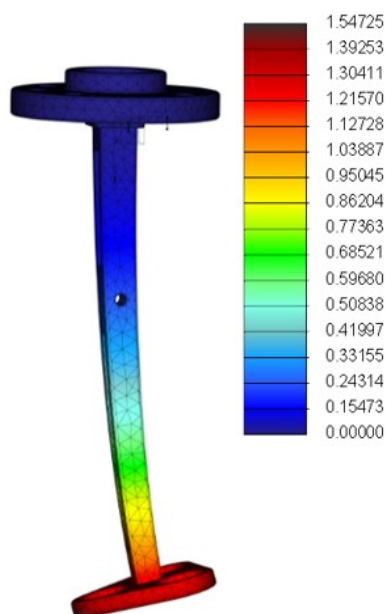
Pro pevnostní kontrolu byly využity jednotlivé 3D modely s definovaným materiálem ABS-M30. Jedná se o plastový materiál využívaný pro 3D tisk technologií FDM, je ideální pro koncepční modely včetně funkčních prototypů. [33]

Parametry materiálu: Pevnost v tahu XZ = 31 MPa

Pevnost v tahu ZX = 26 MPa

Modul pružnosti v tahu = 2,180 MPa

Při tvorbě simulačního modelu byla vytvořena konečno prvková síť, tvořena trojúhelníkovými elementy s velikostí 5 mm. Pro uchycení (constrains) efektoru bylo využito kotvicích otvorů v přípojovací přírubě. Zatížení bylo definováno dle příslušného OM, zrychlení robotu a zatížení od pneumatických hadic jednotlivých přísavek.



Obrázek 63 Průhyb těla pneumatického efektoru

Maximální napětí se nachází v místě lepeného spoje střední části a spodního držáku přísavek. Toto napětí dosahuje hodnoty 32,93 MPa. Maximální průhyb těla efektoru se nachází na konci jeho délky a dosahuje hodnoty 1,547 mm.

Pevnostní kontrola byla provedena i pro dílčí části efektoru. V místě utažení šroubu přípojovací příruby, v místě spodního držáku, kde dochází k utažení šroubení a v místě ve střední části efektoru, kde dochází ke spojení pneumatických komponentů. Detailní parametry a výsledky pevnostní kontroly jsou zobrazeny v Příloha D až Příloha G.

## 5 Zhodnocení vybraného řešení

Kapitola popisuje zhodnocení jednotlivých vybraných řešení, jednotlivé výhody a nevýhody, zda bylo dosaženo vyspecifikovaných požadavků a doporučení pro další možnosti řešení daného úkolu.

### 5.1 Zakládání světlometu

Pro pracoviště A se zakládáním světlometů, je provedena analýza daného pracoviště, je zde popis OM, daného úkolu a z těchto informací jsou specifikovány základní požadavky na aplikaci. Avšak žádná navržená varianta se nejeví jako vhodná. U jednotlivých koncepcí nelze zaručit spolehlivost navrženého řešení a bezpečné uchopení OM. Z tohoto důvodu nebyl proveden výběr navržených koncepcí pro manipulaci se světlometem a přepravním boxem. Z tohoto důvodu bylo zastaveno další rozpracování efektorů, dále pak i následná realizace a testování. Jednotlivé koncepční návrhy pak slouží jako možná řešení, jak manipulovat s tvarově složitým OM jako je světlomet.

V rámci doporučení pro další možné řešení úkolu je vhodné zohlednit úpravu samotného OM. Do těla světlometu je vhodné přidat konstrukčních prvky vhodné pro bezpečný úchop. Přidáním těchto prvků dojde k usnadnění návrhu efektoru pro zakládání světlometu a předejde se případnému poškození krycího skla či dalších částí nevhodných pro uchop.

Dalším doporučením pro řešení zadaného úkolu je vhodná úprava přepravního boxu, zvětšením prostoru pro založení světlometu, zjednodušením lože světlometu a změnou materiálu přepravního boxu.



## 5.2 Montáž odstředivé spojky

Pro úkol montáže odstředivé spojky na hřídel motoru s využitím robotu YuMi, byly navrženy čelisti kolaborativního efektoru. Jednotlivé čelisti jsou mezi sebou zaměnitelné a využitelné pro oba OM. Čelisti se vyznačují velmi nízkou hmotností a vysokou únosností. K výrobě čelistí byla využita slitina hliníku s označením 8090. Díky zaoblenému tvaru, eliminaci ostrých hran a výčnělků splňuje navržená čelist všechny podmínky ergonomie a bezpečnosti.



Obrázek 64 Čelist kolaborativního efektoru

Následující tabulka popisuje výhody a nevýhody navrženého řešení.

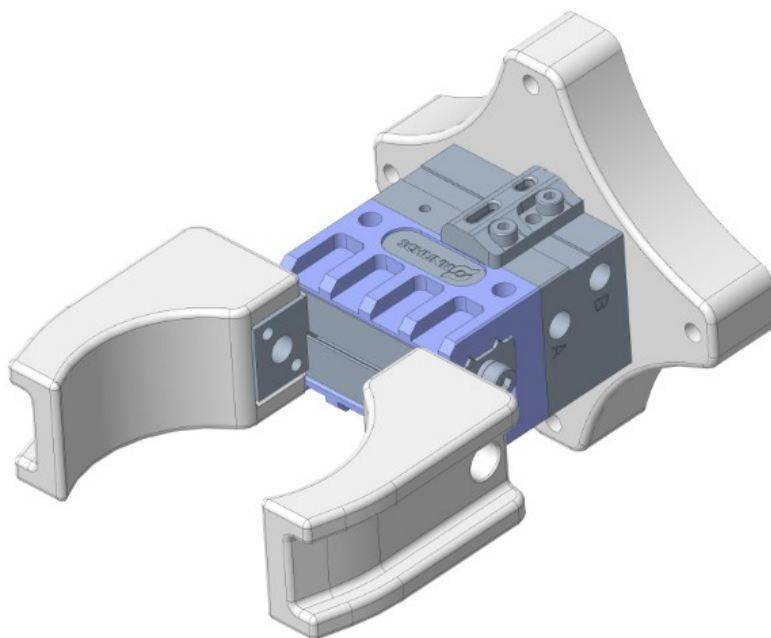
Tabulka 44 Výhody a nevýhody řešení montáže odstředivé spojky

+	-
možnost zaměňovat čelisti	složitější výroba
poměr váha/nosnost	cena za materiál
minimalizace rozměrů	obrobitelnost materiálu
ergonomie	
bezpečnost	

Na základě výběru varianty, jejího zpracování a zhodnocení, splňuje daný návrh všechny požadavky na zadaný úkol.



V rámci doporučení pro další možné řešení úkolu je vhodné zohlednit výměnu samotného kolaborativního efektoru robota YuMi. Při jeho výměně za průmyslové chapadlo je možné dosáhnout větší nosnosti a uchopovací síly. Například využitím chapadla MPG-plus 32-V je možné dosáhnout uchopovací síly až 80 N, s hmotností 0,1 kg. [31]



Obrázek 65 Průmyslové chapadlo Schunk

Komplikací pro využití tohoto chapadla je složitější připojovací člen ke koncovému kloubu kolaborativního robota YuMi. U této aplikace je možnost využít toto průmyslové chapadlo z důvodu dodržení požadovaného taktu pracoviště. Použití tohoto efektoru umožní realizaci robustnějších čelistí z levnějšího konstrukčního materiálu. Efektor je levnější než kolaborativní od ABB. Robot YuMi nebude provozován v kolaborativním režimu a pracoviště bude opatřeno bezpečnostními závorami a bezpečnostním oplocením.

### 5.3 Manipulace a orientace elektronické jednotky

Pro úkol manipulace a orientace elektronické jednotky byl navržen pneumatický efektor pro kolaborativního robota UR10. Efektor obsahuje tři přísavky s celkovou uchopovací silou 14,1 N. Pneumatický obvod doplňuje ejektor s elektricky spínanou funkcí vypnutí či zapnutí vakua. Tělo efektoru tvoří tištěné komponenty, které jsou slepeny. Efektor je možné využít pro uchopování a zakládání všech konfigurací OM.



Obrázek 66 Pneumatický efektor pro UR10

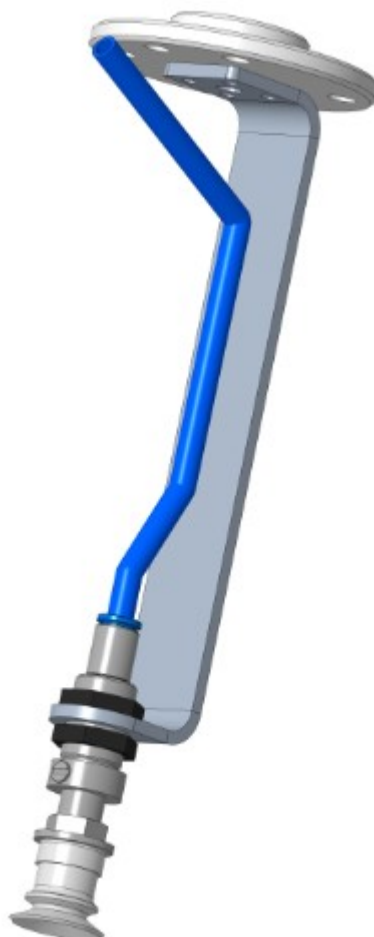
Následující tabulka popisuje výhody a nevýhody navrženého řešení.

+	-
uchopení všech konfigurací OM	odolnost materiálu
poměr váha/nosnost	možná ztráta vakua
minimalizace rozměrů	
ergonomie	

Na základě výběru varianty, jejího zpracování a zhodnocení, splňuje daný návrh všechny požadavky na zadaný úkol.

V rámci doporučení na další možné řešení úkolu je vhodné zohlednit variantu s jednou přísavkou. Tato varianta odstraňuje problém se ztrátou vakua způsobenou nedoléháním přísavek a vede ke zlepšení manipulace a orientace efektoru.

Dalším doporučením pro průmyslové nasazení je změna materiálu, kdy tištěné tělo bude nahrazeno kovovým. Například ohýbaný plech ve tvaru C zajistí požadovaný tvar pro připojení přísavek i příruby.



Obrázek 67 Ohýbaný efektor

## Závěr

Tato diplomová práce pojednává o současném stavu kolaborativní robotiky. Popisuje základní prvky kolaborativní robotiky, rozdíly oproti průmyslovým robotům a jednotlivé aplikace, kde je možné kolaborativní robot využít. V rámci kolaborativní robotiky se daná práce zaměřila na jednotlivá technická řešení využívající se pro kolaborativní aplikace. Část práce je také zaměřená na specifikaci bezpečnostních požadavků při návrhu těchto koncových zařízení dle platných norem a technických specifikací.

Hlavním cílem této práce bylo vytvořit pro jednotlivá pracoviště koncepční návrhy efektorů dle požadovaného úkolu. Při tvorbě návrhu zohlednit analýzu pracoviště, daný úkol, objekt manipulace a základní požadavky potřebné k tvorbě koncepčních řešení. Pro daný úkol rozhodnout o optimální variantě a tu detailně zpracovat, zrealizovat, otestovat a upravit.

U pracoviště A se jednalo o zakládání tvarově složitého OM do přepravního boxu s omezeným prostorem pro manipulaci. Byla provedena analýza tohoto pracoviště, popis OM, daného úkolu a z těchto informací byly specifikovány požadavky na aplikaci. Při návrhu se pro zadavatele úkolu žádné koncepční řešení neukázalo jako vhodné jak po technické, tak ekonomické stránce. Z těchto důvodů nebyl žádný koncept posuzován a detailně zpracováván. Jednotlivé koncepční návrhy pak slouží jako možné řešení současného stavu. Pracoviště B slouží k zakládání dvou rozdílných OM a následnou manipulaci vniklé sestavy z těchto OM, kdy je tento objekt na hranici nosnosti robotického systému využitý v pracovišti. Pro tento úkol byly vytvořeny koncepční návrhy s následnou realizací a testováním. Vhodné řešení bylo podrobeno pevnostní analýze pro kontrolu maximálního snížení váhy při dané nosnosti. Pro pracoviště C byly vytvořeny koncepční návrhy pro daný úkol bin-pickingu. Komplikací v pracovišti je OM, který je ve třech rozlišných konfiguracích. Pro tyto úkoly bylo vybráno vhodné řešení k detailnímu zpracování. Řešení bylo realizováno, testováno a upravováno až do finálního konstrukčního řešení.

V závěru práce je uvedeno zhodnocení jednotlivých pracovišť a jejich řešení. Jsou zde popsány výhody a nevýhody použitého řešení a možná doporučení, jak dále vylepšit robotizovaná pracoviště.

## Poděkování

Rád bych věnoval poděkování Ing. Václavovi Krysovi, Ph.D. za vedení při psaní této diplomové práce, za jeho cenné rady a připomínky. Dále pak za vedení, při řešení studentských projektů v rámci magisterského studia. Také bych chtěl poděkovat Ing. Michalovi Vocetkovi za podporu při psaní této diplomové práce a za jeho cenné rady.

Diplomová práce prezentuje znalosti nabyté v rámci řešení projektů: „Digitální dvojčata robotických systémů a jejich verifikace“, reg. č.: „SP2019/69“, „Adaptabilita robotických systémů“, reg. č.: „SP2018/86“ a „Výzkum a vývoj robotických systémů“, reg. č.: „SP2017/143“ financovaných ze státního rozpočtu České Republiky, na kterých jsem se v průběhu magisterského studia podílel.

## Seznam použité literatury

- [1] DUCHOSLAV, Petr. *Factory Automation: Co je to kolaborativní robot? 5 věcí, které byste o něm měli vědět* [online]. 2017 [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/co-je-to-kolaborativni-robot-5-veci-ktere-byste-o-nem-meli-vedet/>
- [2] VACULÍKOVÁ, Eva. *TALENTICA: Robot nebo kobot? V čem se liší?* [online]. Praha: Talentica, 2019 [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://www.talentica.cz/robot-nebo-kobot/>
- [3] *Universal Robots: Přednosti kolaborativních robotů* [online]. Universal Robots A/S, 2019 [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/o-universal-robots/kolaborativn%C3%AD-roboti-p%C5%99ednosti-kolaborativn%C3%ADch-robot%C5%AF/>
- [4] HAVLE, Otto. *Controlengcesko: Kolaborativní robotika: Dočasná móda, nebo trvalý trend?* [online]. FCC průmyslové systémy, 2017 [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: [http://www.controlengcesko.com/index.php?id=47&no\\_cache=1&tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=6755&cHash=544e46c0f9&type=98](http://www.controlengcesko.com/index.php?id=47&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=6755&cHash=544e46c0f9&type=98)
- [5] *E-konstruktor: 7 obecných aplikací pro coboty* [online]. 2018 [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/7-obecných-aplikací-pro-coboty>
- [6] *RobotIQ: Použití kolaborativních robotů* [online]. AQUAMID, 2019 [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <http://www.robotiq.cz/Pou%C5%BEit%C3%AD-robot%C5%AF>
- [7] *Blumenbecker: Bin Picking* [online]. Blumenbecker Group, 2019 [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://www.blumenbecker.com/cz/prumyslova-automatizace/prumyslove-roboty/bin-picking/>
- [8] ČSN EN ISO 10218-1. Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů: Část 1: Roboty. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [9] ČSN EN ISO 10218-2. Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů: Část 2: Systémy robotů a integrace. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [10] ISO/TS 15066. *TECHNICAL SPECIFICATION: Robots and robotic devices - Collaborative robots*. Geneva: International Organization for Standardization, 2016.
- [11] *KUKA: LBR iiwa* [online]. KUKA, 2019 [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/lbr%C2%A0iiwa>
- [12] *FANUC: CR-35iA* [online]. Fanuc Czech, 2019 [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/spolupracuj%C3%ADc%C3%AD-roboty/collaborative-cr35ia>

- 
- [13] *Universal Robots: UR 10* [online]. Universal Robots A/S, 2019 [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/produkty/robot-ur10/>
- [14] *Stäubli: TX2-60L* [online]. Stäubli International, 2019 [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/en-in/robotics/product-range/6-axis-scara-picker-industrial-robots/tx2-collaborative-robots/tx2-60l/>
- [15] *SCHUNK Grippers: Co-act EGP-C* [online]. Schunk GmbH a Co. [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: [https://schunk.com/de\\_en/gripping-systems/series/co-act-egp-c/](https://schunk.com/de_en/gripping-systems/series/co-act-egp-c/)
- [16] *ABB industrial robots: YuMi® - IRB 14000* [online]. ABB [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-14000-yumi>
- [17] *OnRobot SMART GRIPPER: RG2-FT* [online]. OnRobot [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://onrobot.com/en/products/rg2-ft>
- [18] *Handling technology: HRC* [online]. Zimmer Group [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <http://www.zimmer-group.de/en/structure/%24mg3-16313082/hrc>
- [19] *Robotiq Grippers: 2F-85* [online]. Zimmer Group [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://robotiq.com/products/2f85-140-adaptive-robot-gripper>
- [20] *VACUUM GRIPPER: VG10* [online]. OnRobot [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://onrobot.com/cs/node/176>
- [21] *Kenos® Vacuum gripping systems: KCS* [online]. Piab AB [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://www.piab.com/Products/kenos-vacuum-gripping-systems/kcs/>
- [22] *New Gripper for Collaborative Robots: Schmalz cobot gripper* [online]. J.Schmalz [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://www.schmalz.com/en/company/schmalz-news/press-releases/details/new-gripper-for-collaborative-robots-1/>
- [23] *Empire Robotics: VERSABALL® Gripper* [online]. Empire Robotics [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://www.empirerobotics.com/>
- [24] *Joulin vacuum handling: MiniGrip* [online]. London, 2019 [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: <http://www.joulin.com/all-industries/standard/minigrip.html>
- [25] *Roemheld: Compact clamps* [online]. Römheld GmbH Friedrichshütte, 2019 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://www.roemheld-gruppe.de/shop/en/b1-827-compact-clamps.html>
- [26] *PHD Soultions: 3 Jaw Parallel Grippers* [online]. PHD, 2019 [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <http://litstore.phdinc.com/pdf.asp?filename=CP305843.pdf>
- [27] PALKO, A. a J. SMRČEK. Robotika, Koncové efektory pre priemyslné a servisné roboty: Navrhovanie - Konštrukcia - Riešenia. Košice: TU v Košiciach, 2004. ISBN 80-8073-218-3.
- [28] *Konekt - Hadice a pryž: Pryžové desky STANDART* [online]. Opatovice nad Labem: KONEKT-HADICE, 2019 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <http://www.konekt-hk.cz/pryzove-desky-standard-material-sbr-nr-717/>
-

- 
- [29] *DPlast: Plastové povlaky a nánosy* [online]. Zlín: D PLAST, 2019 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.dplast.cz/cs/produkty/plastove-povlaky-a-nanosy>
- [30] *Festo: Vakuové sací ventily ISV* [online]. Esslingen am Neckar: Festo AG & Co., 2019 [cit. 2019-04-30].
- [31] *SCHUNK Grippers: MPG-plus 32-V* [online]. Schunk GmbH a Co., 2019 [cit. 2019-04-30].
- [32] *AZO Materials: Aluminum 8090 Alloy* [online]. AZoM, 2013 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=8789>
- [33] *Stratasys: ABS-M30* [online]. Stratasys, 2019 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.stratasys.com/materials/search/abs-m30>
- [34] PIŇOS, M. *Návrh utahovacího momentu šroubového spoje v plastových komponentech*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Dvořáček, Ph.D.
- [35] *Killich fasteners and fixing: Kroutící momenty* [online]. Liberec, 2019 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.killich.cz/stranky/technicke-info/kroutici-momenty>



## Přílohy

- Příloha A:     CD médium   - Diplomová práce ve formátu PDF/A  
                                  - Diplomová práce ve formátu Word  
                                  - 3D modely ve formátu .step
- Příloha B:     Napětí a průhyb čelistí B
- Příloha C:     Předpětí šroubového spoje čelistí
- Příloha D:     Napětí a průhyb pneu těla efektoru
- Příloha E:     Napětí příruby pneu efektoru
- Příloha F:     Napětí spodního držáku pneu efektoru
- Příloha G:     Napětí střední části pneu efektoru